

基于玉米苗期生理生化特性的紫色土容许有机复合肥施肥量的确定

赵丽^{1,2,3}, 贺玉晓^{1,4}, 彭辉⁵, 刘刚才¹

1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041
2. 西南科技大学环境与资源学院, 四川绵阳 621010
3. 中国科学院大学, 北京 100049
4. 河南理工大学资源环境学院, 河南焦作 454000
5. 云南省农业科学院热区生态农业研究所, 云南元谋 651300

摘要 为了确定紫色土区玉米种植的容许有机复合肥的施肥量, 本文利用以光合作用理论为基础的植物叶绿素荧光动力学原理, 通过对不同有机复合肥施肥水平下, 玉米幼苗株高、叶面积、叶片的光合速率及叶绿素荧光特性等生理生化特性进行研究, 确定紫色土上种植玉米的有机复合肥的容许施肥量。结果表明, 随着施肥水平的增加, 株高、叶面积指数、气孔导度、净光合速率、胞间CO₂浓度、蒸腾速率、PSII最大光化学量子产量(F_v/F_m)随之递增; 施肥量为0.75—1.49t/hm²(N-P₂O₅-K₂O=0.128—0.128—0.128—0.253—0.235—0.235t/hm²)时, 玉米叶片面积指数较大、植株生长性状良好, 光合速率较高, 产量较高, 并且能够满足玉米生长所需, 保证玉米的光合作用正常进行。因此, 0.75—1.49t/hm²(N-P₂O₅-K₂O=0.128—0.128—0.128—0.253—0.235—0.235t/hm²)的施肥量为容许施肥量。

关键词 紫色土; 容许施肥量; 玉米; 生理生化特性; 有机复合肥

中图分类号 S14

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.h1.014

Determining the Amount of Permissible Organic Compound Fertilization for the Purple Soil Based on the Physiological-biochemical Characteristics of Maize Seedlings

ZHAO Li^{1,2,3}, HE Yuxiao^{1,4}, PENG Hui⁵, LIU Gangcai¹

1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China
2. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan Province, China
3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China
4. Institute of Resources and Environment He'nan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan Province, China
5. Research Institute of Tropical Eco-agricultural Science, Yunnan Academy of Agricultural Science, Yuanmou 651300, Yunnan Province, China

Abstract The tolerable amount of organic compound fertilization for the corn on purple soil is determined by studying the physiological and biochemical features of maize based on the principle of chlorophyll fluorescence kinetics and photosynthesis. The physiological and biochemical indexes include plant height, leaf area, photosynthetic rate, and chlorophyll fluorescence of leaf. Results show that the plant height, leaf area index, stomata conductance, net photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration, transpiration rate, and maximum

收稿日期: 2012-06-12; 修回日期: 2012-08-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971168); 中国科学院2011年度“西部之光”人才培养计划项目

作者简介: 赵丽, 讲师, 研究方向为污染与生态修复, 电子信箱: 2007-zhaoli@163.com; 刘刚才(通信作者), 研究员, 研究方向为土壤侵蚀与土壤修复, 电子信箱: liugc@imde.ac.cn

PSII photochemical quantum yield (F_v/F_m) are increased with the increase of the amount of fertilization. It is found that the fertilization amount ranged from 0.75 t/hm² to 1.49t/hm² (N-P₂O₅-K₂O=0.128-0.128-0.128—0.253-0.235-0.235t/hm²) is able to make a large leaf area, good growth performance, photosynthetic rate, and relatively high yield of corn and also make maize growing in the course of nature to maintain its normal photosynthesis. Therefore, the fertilization amount ranged from 0.75 t/hm² to 1.49t/hm² (N-P₂O₅-K₂O=0.128-0.128-0.128—0.253-0.235-0.235t/hm²) is the tolerable fertilization amount.

Keywords purple soil; permissible fertilization amounts; maize; physiological-biochemical characteristics; organic compound fertilizer

0 引言

紫色土是一种分布于中国西南地区的一种高生产力的土壤^[1],玉米为该区主要的粮食作物之一^[2]。已有大量的研究表明,光合作用是影响产量的基础,氮磷是玉米生长的必须元素,合理施用氮肥和磷肥可以在玉米生育前期增大光合面积、合成叶绿素,保持生育后期的生长需要,达到高产的目的^[3-9]。而目前中国的农业增长仍然以过度依赖于氮肥和磷肥的大量投入为主,大量使用的氮和磷元素也会随着地表流失到河流及湖泊中,使河水及湖水产生富营养化问题,严重制约了农业生产、自然环境与人类社会发展的和谐与良性循环^[10-11],个别施肥甚至造成了作物伤害,即超出了作物对肥料的最大容忍范围。这些问题使研究者不得不思考土壤的容许施肥量,即既能保障作物正常生长而获得一定高产量,又能使水土等环境安全的施肥量。

前人主要对合理施肥量的方法进行了长期大量的研究,研究方法只是围绕土壤养分供给与补充、肥料的产量效应、肥料的水土环境效应开展^[12-14]。由于作物生理性状的研究缺乏田间快速、准确的检测手段,所以从作物的生理性状方面着手研究施肥量的较少。植物叶绿素荧光动力学是以光合作用理论为基础,利用体内叶绿素来快速研究和探测植物光合生理状况以及外界因子对其细微影响的一种新型植物活体测量和诊断技术^[15-16]。目前对于叶绿素荧光动力学等光合参数的研究主要局限于抗旱、抗盐、抗寒、抗热、抗养分胁迫和光抑制等逆境条件下作物的生理生化反应^[17-20]。在此背景下,本研究通过不同氮磷施肥量下作物的叶绿素荧光等光合参数与苗期生长性状的研究,来确定紫色土的容许施肥量,为紫色土区农业高效安全施肥提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验点的基本情况

试验于 2011 年 5—8 月在云南省元谋干热河谷沟蚀崩塌野外观测研究站(元谋站)进行。元谋县位于云贵高原北缘的金沙江一级支流——龙川江下游的河谷地带(101°35'E—102°05'E, 25°25'N—26°07'N)。干热河谷区光热资源丰富,年日照时数 2550—2744h,年均温 21.5℃,年降水量 615.1mm,年蒸发量 3569.2mm,为降水量的 5.8 倍。紫色土为该区分布面积最大的土壤类型之一,母质风化程度较低,土壤多为沙壤质,肥力高^[2],宜种植、盛产多种粮食作物(水稻、小麦、玉米、红薯、洋芋、豆类和高粱等)和经济作物(油菜、甘蔗、棉花、

麻、蚕茧、柑桔和花生等)。

1.2 试验材料

供试土壤为沙壤质紫色土,土壤容重 1.46g/cm³,有机质 9.45g/kg,全氮 0.47g/kg,全磷 0.3g/kg,速效氮 31.5mg/kg,速效磷 1.66mg/kg,pH 值 8.12。供试肥料是硝酸钾有机复合肥,主要成分为硝酸钾,有效成分(N-P₂O₅-K₂O)为 17%-17%-17%。供试作物为长城 799 玉米。

1.3 试验处理和管理

采用小区坡耕地种植玉米的方式,根据小区面积为 25m²(10m×2.5m)及玉米的种植密度为 59970 株/hm²,每个小区种植 157 株,采用平播、宽窄行种植,行距 35cm,株距 25cm,重复 3 次。

试验设置 5 个施肥水平(T1—T5),分别为常规施肥量(0.75t/hm²,T1)、常规施肥量的 0.5 倍(0.37t/hm²,T2)、常规施肥量的 1.5 倍(1.12t/hm²,T3)、常规施肥量的 2.0 倍(1.49t/hm²,T4)、常规施肥量的 2.5 倍(1.87t/hm²,T5),各个施肥水平中养分含量见表 1。

表 1 各个施肥水平施肥量及养分含量
Table 1 Amount and nutrient content of fertilization with different fertilization level

水平	施肥量 /(t·hm ⁻²)	养分总量 /(t·hm ⁻²)	N /(t·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ /(t·hm ⁻²)	K ₂ O /(t·hm ⁻²)
T1	0.75	≥0.384	0.128	0.128	0.128
T2	0.37	≥0.189	0.063	0.063	0.063
T3	1.12	≥0.570	0.190	0.190	0.190
T4	1.49	≥0.759	0.253	0.253	0.253
T5	1.87	≥0.954	0.318	0.318	0.318

5 月初地温稳定在 10℃以上播种,播种前整地浇水,保证田间持水量 60%以上,整地时将有机复合肥一次性施入,玉米生长期按一般大田水平进行田间管理。

1.4 测定项目与方法

玉米播种到拔节这一阶段为苗期,是玉米的促根、壮苗的关键时期。为了确定能够保证玉米幼苗早、足、齐、壮的容许有机肥施肥量,本试验测量选取幼苗定苗除草后、追肥前这一生长阶段作为测定时期。

(1) 叶绿素荧光参数。选晴朗无风天气,于上午 9:00—11:00 之间,每个水平随机选取有代表性的 3 株,暗室处理 20min 后,采用英国 Pocket-PEA 光合效率仪测定下列指标:

初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、可变荧光(F_v)、PSII 最大光化学效率(F_v/F_m)、PSII 潜在光化学活性(F_v/F_0)、以及光系统反应中心能量的吸收和分配 (ABS/RC 、 TRO/RC 、 ETO/RC 和 DIO/RC)^[21-22]。

(2) 光合作用。使用 LI-6400 型便携式光合测定仪进行活体测定。每次测定在晴天 9:30—12:00 光照充足且相对稳定的时间,测定部位为叶片中部,各处理重复 3 次,结果取其平均值。设定光强梯度为 2000、1800、1200、800、600、400、150、100、50、20、10 和 $0\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, 大气温度 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 大气 CO_2 浓度 $400\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。测定叶片在每一光强下的净光合速率 (P_n , $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)、气孔导度 (G_s , $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)、胞间 CO_2 浓度 (C_i , $\mu\text{mol}/\text{mol}$) 等光合参数。

(3) 农艺性状。玉米叶面积指数 (Leaf Area Index, LAI) 的测定方法:在试验处理小区选取长势均匀,有代表性的 3 株夏玉米进行定期观测,利用钢尺测定每株各叶片的叶长 (L_{ij}) 和最大叶宽 (B_{ij}),叶面积指数由式(1)求得:

$$LAI = 0.75\rho_{密} \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (L_{ij} \cdot B_{ij})}{m} \quad (1)$$

表 2 玉米苗期的叶面积指数和株高变化

Table 2 Change of leaf area index and plant height in corn seedling stage

施肥水平	叶面积指数	株高/cm	产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
T1	0.071 ± 0.0279^{ba}	8.633 ± 0.4372^{ABCabc}	$8321.04\pm 39.3391^{BCbc}$
T2	0.051 ± 0.0312^{ab}	8.133 ± 0.8413^{BCbc}	7599.25 ± 59.5578^{Cc}
T3	0.101 ± 0.0092^{ab}	9.167 ± 0.8293^{ABab}	$9292.99\pm 48.1121^{ABab}$
T4	0.127 ± 0.0111^{ab}	9.767 ± 1.3346^{ba}	9811.04 ± 43.9258^{ba}
T5	0.060 ± 0.0318^{ba}	7.800 ± 0.5508^{Cc}	$8995.97\pm 32.5834^{ABCab}$

注:不同大、小写字母分别表示同列不同处理间差异极显著 ($P<0.01$) 和显著 ($P<0.05$)。

Note: Different capitals and small letters in same column mean extremely significant ($P<0.01$) and significantly difference ($P<0.05$), respectively with different handling.

抑制,株高比 T1 降低 9.6%,叶面积指数减少 15.5%。由后期玉米成熟收割后的产量可知,除水平 T2 外,产量均高于常规施肥量水平 T1,随着施肥量的增加,T3 和 T4 水平的产量高于最高施肥量水平 T5,说明 T2 和 T5 由于施肥不足及施肥过量而影响玉米幼苗的生长和产量,适当的增加施肥能够促进玉米叶片和植株的正常生长,保证玉米有较高产量。

2.2 不同氮磷施肥水平对玉米叶绿素荧光特性的影响

不同的氮素和磷素的施肥水平影响玉米幼苗叶片的叶绿素含量、光合作用和能量的转化利用等生理活动的正常进行。玉米苗期的叶绿素荧光动力学参数见表 3。

从表 3 可见,光合系统 II 反应中心处于完全开放时的初始荧光和反应中心全部关闭时的最大荧光均随着施肥水平的增加而呈递增趋势,电子传递能力随之降低。施肥水平 T2 和 T5 的初始荧光和最大荧光与其他水平之间存在较显著的差异,其初始荧光和最大荧光分别低于常规施肥水平 T1 的 1.08% 和 8.54%,最大荧光分别低于常规施肥水平 T1 的

式中, n 为第 j 株玉米的总叶片数; m 为测定株数; $\rho_{密}$ 为夏玉米种植密度^[23]。

玉米株高采用钢尺直接测定。

(4) 土壤理化性质。采集 0—20cm 土壤样品,采用 GB 7857—87 重铬酸钾氧化-外加热法测定有机质;GB 7173—87 半微量开氏蒸馏法测定全氮;碱解扩散法测定速效氮;GB 7152—87 NaOH 碱熔-钼兰比色法测定全磷;GB 7853—87 氟化铵-盐酸浸提/碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定速效磷;环刀法测定土壤容重;烘干法测定含水率。

2 结果与分析

2.1 不同施肥水平下玉米的农艺性状特征

叶面积指数和株高是与产量有关的重要性状。不同施肥水平下,玉米苗期的叶面积指数、株高和产量见表 2。

由表 2 可见,随着施肥水平从较低到适中的增加(T1—T4),玉米苗期叶面积指数和株高均随之递增,而达到水平 T5 时,叶面积指数和株高则随之降低。施肥量每增加 $0.374\text{t}/\text{hm}^2$ ($\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}=0.064-0.064-0.064\text{t}/\text{hm}^2$),株高和叶面积指数分别增大 5% 和 20.5%。水平 T5 由于施肥过多,玉米的生长受到

4.75% 和 8.04%。光系统反应中心吸收的能量 (ABS/RC)、中心捕获的能量 (TRO/RC)、电子传递的能量 (ETO/RC) 和中心热耗散的能量 (DIO/RC) 从较低施肥水平到过量的施肥水平 (T1—T5) 存在显著差异,且都为随着施肥水平的增加而增加,受到不足和过量施肥的抑制作用。暗适应后的 F_v/F_m 值影响 PSII 潜在量子效率,并被认为是植物光合能力的敏感指标。从表 3 可见,施肥水平 T3 和 T4 的 F_v/F_m 值高于常规施肥量的 2.75% 和 3.11%,T2 和 T5 的 F_v/F_m 值低于常规施肥量的 1.16% 和 3.34%。过量和少量的施肥都会破坏光系统反应中心吸收和捕获光能的能力,并导致用于电子传递和中心热耗散的能量降低。

玉米苗期的快速叶绿素荧光动力学曲线均呈典型的 O—J—I—P 四相型曲线(图 1)。水平 1 的初始相“O”(F_0)最大,PSII 反应中心接受光量子的限度最大,从“J—I”相的快还原型 PQ 库最先被完全还原,水平 T3 和 T4 次之,水平 T2 和 T5 最低。而从“K—P”相,各水平差异明显,水平 T3 的慢还原型 PQ 库电

表 3 苗期玉米生长的叶绿素荧光动力学参数的影响

Table 3 Effect of the chlorophyll fluorescence kinetics parameters in the period of corn seeding growth

施肥水平	初始荧光 (F_0)	最大荧光 (F_m)	最大光化学效率 (F_v/F_m)	反应中心捕获的能量 (TRO/RC)	电子传递能量 ($ET0/RC$)	中心吸收的能量 (ABS/RC)	热耗散能量 (DIO/RC)
T1	268.1±4.18 ^{ABb}	1249.6±30.56 ^{BCb}	0.778±0.002 ^{Bb}	0.240±0.008 ^{Bb}	0.131±0.005 ^{Bb}	0.312±0.011 ^{Bb}	0.069±0.003 ^{BCb}
T2	265.2±6.02 ^{Bb}	1190.2±23.98 ^{CDbc}	0.769±0.003 ^{BCb}	0.208±0.005 ^{Cc}	0.124±0.003 ^{Cc}	0.260±0.006 ^{Cc}	0.051±0.001 ^{CDc}
T3	277.1±7.53 ^{ABab}	1341.8±19.68 ^{ABa}	0.800±0.002 ^{Aa}	0.243±0.009 ^{ABb}	0.135±0.006 ^{Bb}	0.313±0.011 ^{Bb}	0.072±0.003 ^{Bb}
T4	295±12.17 ^{Aa}	1344.7±17.21 ^{Aa}	0.803±0.002 ^{Aa}	0.274±0.013 ^{Aa}	0.156±0.008 ^{Aa}	0.372±0.022 ^{Aa}	0.094±0.010 ^{Aa}
T5	245.2±2.49 ^{Bb}	1149.1±27.65 ^{Dc}	0.752±0.010 ^{Cc}	0.203±0.003 ^{Cc}	0.104±0.002 ^{Cc}	0.253±0.003 ^{Cc}	0.050±0.001 ^{Dc}

注:不同大、小写字母分别表示同列不同处理间差异极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)。

Note: Different capitals and small letters in same column mean extremely significant ($P<0.01$) and significantly difference ($P<0.05$), respectively with different handling.

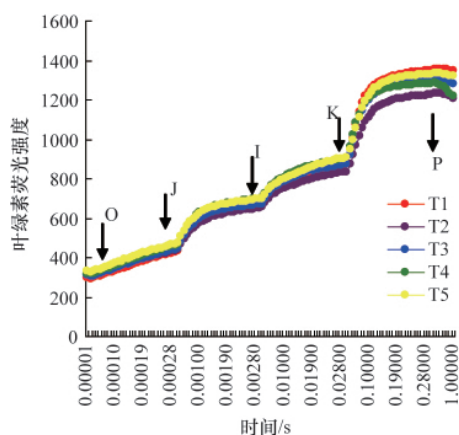


图 1 不同施肥量下玉米的叶绿素荧光动力学曲线

Fig. 1 Curve of corn chlorophyll fluorescence kinetics with different fertilization levels

子传递能力最快,荧光产量最高,水平 T1 和 T4 次之,水平 T2 和 T5 最差。从图 2 看,PSII 中的 F_v/F_m 均在早晨和黄昏较大,

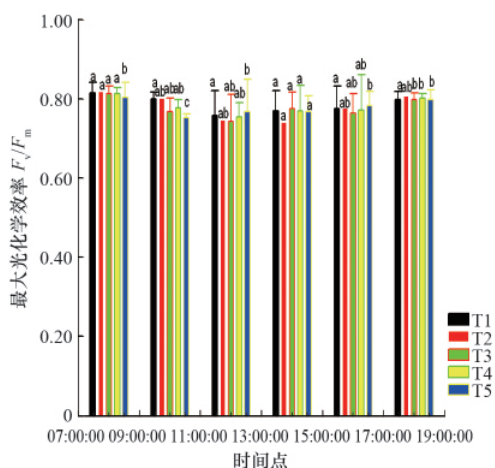


图 2 不同施肥量下 F_v/F_m 日变化规律

Fig. 2 Daily variations of F_v/F_m with different fertilization levels

注:图中不同字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Different letters mean significant difference at 0.05 probability level.

而在正午前后出现“低谷”,与徐俊增等^[24]的研究结果一致,并与光合的“午休”现象相对应^[25],不同施肥处理间的对比关系表明,水平 T1、T3 和 T4 处理的 PSII 多高于 T2 和 T5 处理。说明不同的施肥水平会使玉米的光合作用存在显著差异,但 PSII 反应中心中午处于强光胁迫时均不能充分利用过量的光能,只有适当的氮磷肥施用水平才能增强玉米叶片的光能利用效率和抵御光抑制的能力,过量或少量的施肥影响玉米叶片的电子传递速率,光能反应受到显著抑制。

2.3 不同施肥水平对气体交换参数的影响

利用光响应曲线可进一步分析不同施肥水平下玉米光合作用状态。其净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度和蒸腾速率的光响应曲线见图 3—图 6。

气孔控制着植物体与外界环境的水、气交换,胞间 CO_2 浓度有助于提高叶肉细胞羧化效率,蒸腾作用是植物水循环的动力,而且当蒸腾作用正常进行时,气孔开放,有利于 CO_2 进入叶片进行光合作用,光合速率在一定程度上反映光合作用的水平,氮磷元素营养水平对光合速率影响较大。从图 3—图 6 来看,与常规施肥量水平 T1 相比,T3 和 T4 气孔导度较高,有利于 CO_2 进入叶片进行光合作用,并促进玉米蒸腾作

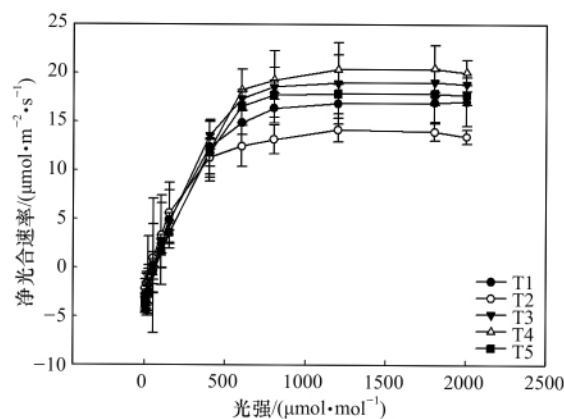


图 3 净光合速率的光响应曲线

Fig. 3 Light response curve of the net photosynthetic rate

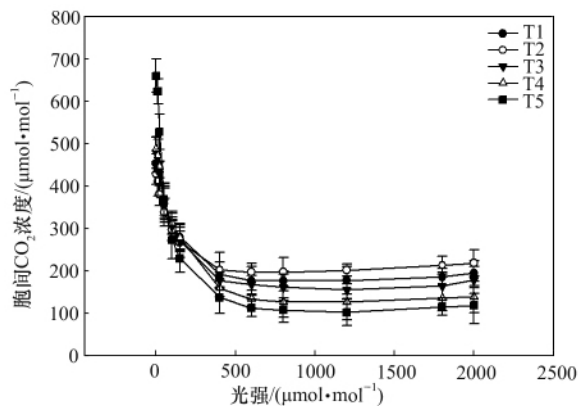

 图 4 胞间 CO₂ 浓度光响应曲线

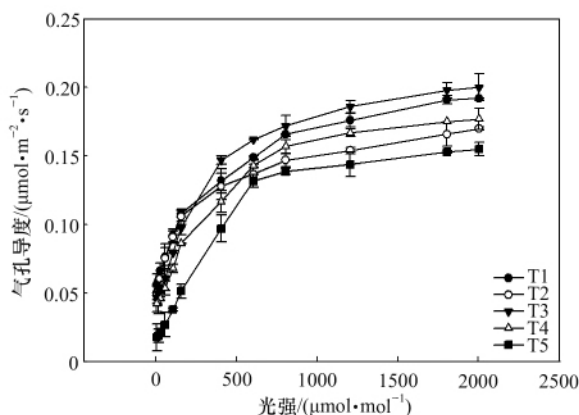
 Fig. 4 Light response curve of the intercellular CO₂ concentration


图 5 气孔导度光响应曲线

Fig. 5 Light response curve of stomatal conductivity

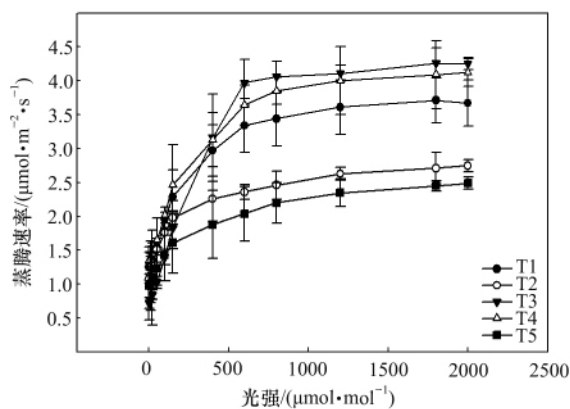


图 6 蒸腾速率光响应曲线

Fig. 6 Light response curve of evapotranspiration rate

用,提高叶片的光合速率。T2 和 T5 的气孔导度、蒸腾速率、净光合速率和胞间 CO₂ 浓度水平明显低于适中的施肥水平 (T1, T3, T4),说明适中的施肥水平能够在促进玉米叶片气孔开放,控制叶片的蒸腾速率,提高叶绿素对光能的吸收利用能力,从而提高叶片的净光合速率,过量或少施氮磷肥都会抑制叶绿素对光能的吸收利用,而且会造成氮磷元素的流失

和农业生态环境的污染与破坏。

2.4 产量与农艺性状、生理生化指标相关性研究

在不同施肥水平下,叶面积指数、株高、最大光化学效率等农艺性状与生理生化指标能够直接反映出作物的光合作用能力、生长发育状况,是与产量有关的重要指标^[26-27]。

表 4 研究了不同施肥水平下,产量、农艺性状(叶面积指数、株高)和生理生化指标(F_v/F_m)指标之间的相关性。结果显示,株高和产量都与施肥水平有较高的相关性,最大光化学效率、叶面积指数与施肥水平呈负相关关系,叶面积指数越大、株高越高,则最大光化学效率越高,产量越高。

表 4 产量与农艺性状、生理生化指标相关性分析

Table 4 Correlation analysis on yields, economical character and physiological and biochemical indexes

相关系数	施肥量 /(t·hm ⁻²)	叶面积 指数	株高 /cm	最大光化 学效率 (F_v/F_m)	产量 /(kg·hm ⁻²)
施肥量 /(t·hm ⁻²)	1	-0.57*	0.76**	-0.71**	0.79**
叶面积指数		1	-0.12	0.84**	-0.05
株高/cm			1	-0.34	0.78**
最大光化学 效率(F_v/F_m)				1	-0.24
产量 /(kg·hm ⁻²)					1

注:* 和 ** 分别表示同列不同指标间差异极显著相关($P<0.01$)和显著相关($P<0.05$)。

Note: * and ** in same column mean positively ($P<0.01$) and significantly difference ($P<0.05$) among different indicators.

图 7—图 10 研究了不同施肥水平下,施肥水平、产量、农艺性状(叶面积指数、株高)和生理生化指标(F_v/F_m)指标之间的关系。结果显示,产量、叶面积指数、株高和 F_v/F_m 都与施肥水平有较高的相关性,且基本呈开口朝下的抛物线趋势,且在 T1 (0.75t/hm², N-P₂O₅-K₂O=0.128-0.128-0.128t/hm²)、T3 (1.12t/hm², N-P₂O₅-K₂O=0.190-0.190-0.190t/hm²)和 T4 (1.49t/hm², N-P₂O₅-K₂O=0.253-0.253-0.253t/hm²) 3 个水平时,各项指数最优。T2 (0.37t/hm², N-P₂O₅-K₂O=0.063-0.063-0.063 t/hm²)和 T5 (1.87t/hm², N-P₂O₅-K₂O=0.318-0.318-0.318t/hm²)时,各项指标均低于常规施肥 T1。结合玉米生长性状来看,氮磷肥料施用量在 0.75—1.49t/hm²(N-P₂O₅-K₂O=0.128-0.128-0.128t/hm²—0.253-0.253-0.253t/hm²)时,玉米的叶面积和株高都能满足玉米后期的生长需要,保证根管的生长发育,提高玉米叶片的光合能力和能量转换能力,为后期高产和高品质打下基础。

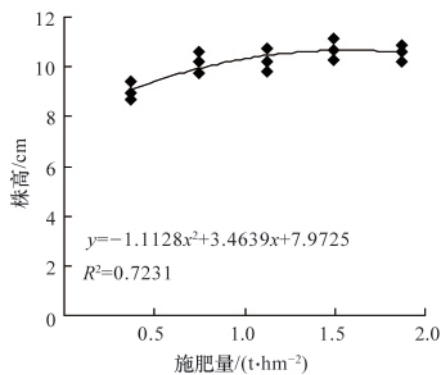


图7 施肥水平与株高相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis on fertilization level and plant height

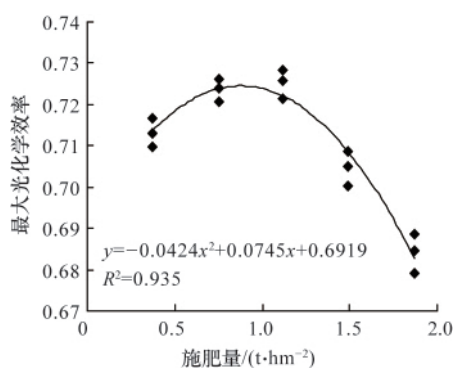


图9 施肥水平与最大光化学效率的相关性分析

Fig. 9 Correlation analysis on fertilization level and F_v/F_m

3 结果与讨论

(1) 利用叶绿素荧光快速检测技术探测玉米生长的光合生理状况及在不同氮磷施肥水平对玉米生长的细微影响,为合理施肥提供依据的研究甚少。PSII反映了植物光化学反应的效率,施肥量的不同会影响玉米叶片PSII开放部分的比例及光合电子传递速率和PSII总的光化学量子产额^[28-30],通过植物呈现出不同生理特性评价施入的氮、磷亏缺与否,以此达到指导玉米种植的合理施肥的目的。通过本文的研究发现,施肥量为0.75—1.49t/hm² (N-P₂O₅-K₂O=0.128-0.128-0.128—0.253-0.253-0.2583t/hm²),是紫色土区玉米种植的容许有机复合肥的施肥量,地区和品种的不同会造成施肥量的差异。

(2) 氮磷肥施用量对玉米叶片的净光合速率、胞间CO₂浓度、气孔导度和蒸腾速率都有明显的影响,随着施肥量增加而升高,用量过高或过低时反而会下降^[31]。从本研究看出,在玉米苗期合理施用氮磷肥能够提高玉米生育前期的净光合速率和叶绿素含量,延长较高的光合的持续期,过量及不足的氮磷肥会降低玉米的气孔导度和蒸腾速率。除此以外,左仁辉等^[32]和王帅等^[33]指出施氮肥过量,虽然能够提高前期的C_i,但会使其在后期提早降低,而适当磷肥用量可提高穗位叶前期的净光合速率和叶绿素含量,而对后期无显著影响,而适宜的氮、磷用量分别为0.24(N)、0.15t/hm²(P₂O₅),与本文的

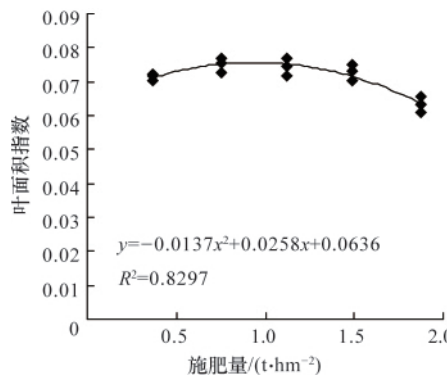


图8 施肥水平与叶面积指数、 F_v/F_m 的相关性分析

Fig. 8 Correlation analysis on fertilization level, LAI and F_v/F_m

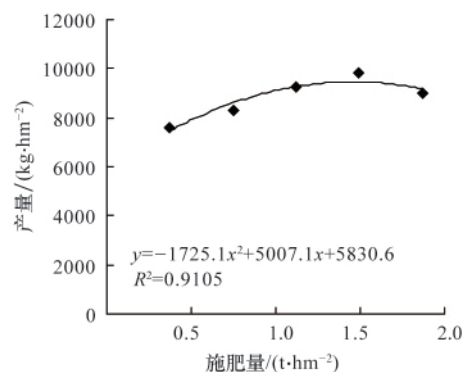


图10 施肥水平与产量的相关性分析

Fig. 10 Correlation analysis on fertilization level and yields

容许施肥量 N-P₂O₅-K₂O=0.128-0.128-0.128—0.253-0.253-0.2583t/hm²一致。

(3) 玉米苗期的株高、叶面积指数、产量与施肥水平具有较高的相关性(分别为R²=0.7231, R²=0.8279, R²=0.9105)。在施肥量为0.75—1.49t/hm² (N-P₂O₅-K₂O=0.128-0.128-0.128—0.253-0.253-0.2583t/hm²)时,叶面积指数越大、株高越高、施肥量越多,产量随之增加,但增加到过量施肥T5时,玉米生长受到明显抑制,由此可见施肥多于1.87t/hm²(N-P₂O₅-K₂O=0.318-0.318-0.318)少于0.37t/hm²(N-P₂O₅-K₂O=0.063-0.063-0.063)都会限制玉米的生长,与李燕珍^[32]、孙志伟^[33]研究的长城799玉米的合理施肥量一致。

参考文献 (References)

[1] 刘刚才. 紫色土侵蚀规律及其防治技术 [M]. 成都: 四川大学出版社, 2008.
Liu Guangcai. Purple soil erosion and its prevention and control technology[M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2008.

[2] Qi W, Liu H, Liu P. Morphological and physiological characteristics of com (*Zea mays* L.) roots from cultivars with different yield potentials[J]. *Europ J Agronomy*, 2012, 38(2): 54-63.

[3] 张治安, 陈展宇. 植物生理学[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2009.
Zhang Zhian, Chen Zhanyu. Plant physiology [M]. Changchun: Jilin University Press, 2009.

[4] 郝建军, 康宗利. 植物生理学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

- Hao Jianjun, Kang Zongli. *Plant physiology* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [5] 张玉斌, 曹庆军, 张铭, 等. 施磷水平对春玉米叶绿素荧光特性及品质的影响[J]. *玉米科学*, 2009, 17(4): 79-81.
Zhang Yubin, Cao Qingjun, Zhang Ming, *et al.* *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(4): 79-81.
- [6] 徐爱东, 邱念伟, 娄苑颖. 判断玉米幼苗缺氮程度的叶绿素荧光动力学指标[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(2): 498-503.
Xu Aidong, Qiu Nianwei, Lou Yuanying. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2): 498-503.
- [7] 王帅, 杨劲峰, 韩晓日, 等. 不同施肥处理对旱作春玉米光合特性的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2008(6): 23-27.
Wang Shuai, Yang Jinfeng, Han Xiaori, *et al.* *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008(6): 23-27
- [8] 李绍长, 胡昌浩, 龚江, 等. 低磷胁迫对磷不同利用效率玉米叶绿素荧光参数的影响[J]. *作物学报*, 2004, 30(4): 365-370.
Li Shaochang, Hu Changhao, Gong Jiang, *et al.* *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(4): 365-370.
- [9] 梁秀兰, 林英春, 年海, 等. 低磷胁迫对不同基因型玉米主要生理生化特性的影响[J]. *作物学报*, 2005, 31(5): 667-669.
Liang Xiulan, Lin Yingchun, Nian Hai, *et al.* *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(5): 667-669.
- [10] 曹志洪. 化肥与环境与农业持续发展 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
Cao Zhihong. *Chemical fertilizer and environment and sustainable development of agriculture* [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994.
- [11] Boussadia O, Steppe K, Zgallai H. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars 'Meski' and 'Koroneiki' [J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 123(4): 336-342.
- [12] 邵建华, 韩永圣, 高芝祥. 平衡施肥与农作物的平衡吸收 [J]. *化工科技市场*, 2003(8): 4-6.
Shao Jianhua, Han Yongsheng, Gao Zhixiang. *Chemical Technology Market*, 2003(8): 4-6.
- [13] 侯彦林. "生态平衡施肥"的理论基础和技术体系[J]. *生态学报*, 2000, 20(4): 653-658.
Hou Yanlin. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 653-658.
- [14] 汪如贵. 黑河灌区制种玉米最佳施肥量探析 [J]. *农业科技与信息*, 2010(5): 37-38.
Wang Rugui. *Information of Agricultural Science and Technology*, 2010(5): 37-38.
- [15] Gorbea E, Calatayude A. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: A review [J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 138: 24-35.
- [16] 孙年喜, 宗学风, 王三根. 不同供氮水平对玉米光合特性的影响[J]. *西南农业大学学报: 自然科学版*, 2005, 27(2): 389-392
Sun Nianxi, Zong Xuefeng, Wang Sangan. *Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science Edition*, 2005, 27(2): 389-392
- [17] Mehta P, Jajoo A, Mathur S, *et al.* Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photo system II in wheat leaves [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2010, 48(1): 16-20.
- [18] Dobrowski S Z, Pushnikb J C, Zarco -Tejada P J, *et al.* Simple reflectance indices track heat and water stress -induced changes in steady-state chlorophyll fluorescence at the canopy scale [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 97(3): 403-414.
- [19] 陈贻竹, 李晓萍, 夏丽, 等. 叶绿素荧光技术在植物环境胁迫研究中的应用[J]. *热带亚热带植物学报*, 1995, 3(4): 79-86.
Chen Yizhu, Li Xiaoping, Xia Li, *et al.* *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1995, 3(4): 79-86.
- [20] Srivastava A, Guisse B, Greppin H, *et al.* Regulation of antenna structure and electron transport in Photosystem II of Pisum sativum under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll a fluorescence transient: OKJIP [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1997, 1320(1): 95-106.
- [21] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. *植物学通报*, 1999, 16(4): 444-448.
Zhang Shouren. *Chinese Bulletin Of Botany*, 1999, 16(4): 444-448.
- [22] 张溢, 王慧娟, 于长青. 超旱生植物沙冬青高温胁迫下的快速叶绿素荧光动力学特征[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(6): 2272-2277.
Zhang Mi, Wang Huijuan, Yu Changqing. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(6): 2272-2277.
- [23] 张旭东, 蔡焕杰, 付玉娟, 等. 黄土区夏玉米叶面积指数变化规律的研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(2): 25-29.
Zhang Xudong, Cai Huanjie, Fu Yujuan, *et al.* *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(2): 25-29.
- [24] 徐俊增, 彭世彰, 魏征, 等. 不同供氮水平及水分调控条件下水稻光合作用光响应特征[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(2): 72-76.
Xu Junzeng, Peng Shizhang, Wei Zheng, *et al.* *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(2): 72-76.
- [25] 许大全. 光合作用"午睡"现象的生态、生理与生化[J]. *植物生理学通讯*, 1990, 26(6): 5-10.
Xu Daquan. *Plant Physiology Communications*, 1990, 26(6): 5-10.
- [26] 阮培均. 灰色关联度分析在玉米育种中的应用 [J]. *农业系统科学与综合研究*, 1996, 12(1): 11-14.
Ruan Peijun. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 1996, 12(1): 11-14.
- [27] 田满, 韩宝柱. 玉米杂交种的产量与主要农艺性状的相关分析[J]. *北京农业*, 2005(8): 35, 91-92.
Tian Man, Han Baozhu. *Beijing Agriculture*, 2005(8): 35, 91-92.
- [28] 王俊忠, 张超男, 赵会杰, 等. 不同施肥方式对超高产夏玉米叶绿素荧光特性及产量性状的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(3): 479-483.
Wang Junzhong, Zhang Chaonan, Zhao Huijie, *et al.* *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(3): 479-483.
- [29] 王群, 李渤海, 张永恩, 等. 不同质地土壤夏玉米生育后期叶绿素荧光特性比较研究[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(21): 5476-5479.
Wang Qun, Li Chaohai, Zhang Yong'en, *et al.* *Journal of Anhui Agriculture Sciences*, 2006, 34(21): 5476-5479.
- [30] 朱延姝, 于丽姣, 樊金娟, 等. 玉米幼苗叶片叶绿素荧光参数变化规律研究[J]. *河南农业科学*, 2011, 40(6): 36-38, 42.
Zhu Yanshu, Yu Lijiao, Fan Jinjuan, *et al.* *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2011, 40(6): 36-38, 42.
- [31] 左仁辉, 韩晓日, 战秀梅, 等. 不同施肥条件下玉米光合特性和产量的研究[J]. *杂粮作物*, 2010, 30(3): 190-194.
Zuo Renhui, Han Xiaori, Zhan Xiumei, *et al.* *Rain Fed Crops*, 2010, 30(3): 190-194.
- [32] 李燕珍. 杂交玉米新品种-长城 799[J]. *云南农业*, 2006, 22(2): 16.
Li Yanzhen. *Yunnan Agriculture*, 2006, 22(2): 16.
- [33] 孙志伟. 长城 799 玉米品种高产栽培技术 [J]. *中国种业*, 2009(S1): 91-92.
Sun Zhiwei. *China Seed Industry*, 2009(S1): 91-92.

(责任编辑 吴晓丽)