

种植密度对郑单 958 叶绿素荧光参数和产量性状的影响

赵玉廷 (安徽省创富种业有限公司, 安徽合肥 230031)

摘要 以郑单 958 为材料, 设置 3 个种植密度, 研究不同密度条件下玉米在拔节期、抽雄期、吐丝期、灌浆期、成熟期 5 个不同生育期穗位叶叶绿素荧光参数的变化; 同时通过对比不同处理之间产量和产量性状的差异, 探究适合郑单 958 高产栽培的种植密度。结果表明, 密度对不同生育期叶绿素荧光参数变化趋势影响明显, 最低荧光水平在不同处理下整个生育期呈上升趋势; 最大荧光水平在全生育期内表现为先上升后下降, 吐丝期达到最大值; 吐丝期之后光系统 II 的最大光合效率降低; 光系统 II 的实际光合效率在 3 种处理下整体变化趋势相同, 最大值都出现在灌浆期, 最小值出现在成熟期; 随着生育期的推进光化学荧光淬灭系数总体呈先上升后下降的趋势; 非光化学荧光淬灭系数总体呈先上升后下降再上升的趋势。当密度增加时, 光系统 II 的活性降低, 量子产量会降低, 光合效率下降。产量性状中穗长、穗粗、百粒重、行粒数随着密度增加表现下降, 穗行数基本保持不变, 出籽率表现为先上升后降低。郑单 958 的最高产量是在 6.00 万株/hm² 密度下获得, 产量为 9 260.43 kg/hm²。

关键词 密度; 叶绿素; 荧光; 产量

中图分类号 S513 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)08-0031-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.08.008



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Planting Density on Chlorophyll Fluorescence Parameters and Yield Characters of Zhengdan 958

ZHAO Yu-ting (Limited Company of Anhui Chuangfu Seed Industry, Hefei, Anhui 230031)

Abstract Taking Zhengdan 958 as material, three planting densities were set up to study the changes of chlorophyll fluorescence parameters of ear leaves in five different growth stages of maize under different densities: jointing stage, heading stage, silking stage, filling stage and maturity stage. Meanwhile, the planting density suitable for Zhengdan 958 high yield cultivation was explored by comparing the differences of yield and yield characters among different treatments. The results showed that the density had a significant effect on the variation trend of chlorophyll fluorescence parameters in different growth stages. The lowest fluorescence level showed an upward trend in the whole growth period under different treatments. The maximum fluorescence level showed an upward trend and then a downward trend during the whole growth period, and reached the maximum at silking stage; the maximum photosynthetic efficiency of photosystem II decreased after silking stage; the actual photosynthetic efficiency of photosystem II was the same under the three treatments, the maximum value appeared in the filling stage, and the minimum appeared in the maturity stage. During the growth period, the photochemical fluorescence quenching coefficient generally increased first and then decreased. The non-photochemical fluorescence quenching coefficient generally increased first, then decreased and then increased. When the density was increased, the activity of photosystem II decreased, quantum yield decreased and photosynthetic efficiency decreased. Among yield traits, ear length, ear diameter, 100-grain weight and kernels per row decreased with the increase of density, while ear row number remained basically unchanged, and shelling percentage increased first and then decreased. The highest yield of Zhengdan 958 was obtained at 60 thousand plant/hm² density, and the yield was 9 260.43 kg/hm².

Key words Density; Chlorophyll; Fluorescence; Yield

玉米是我国的主要粮食作物, 种植面积大。目前, 随着人口基数的增长以及耕地面积的逐渐减少, 玉米生产在粮食生产中变得更加重要。种植密度是决定玉米生理特性的主要因素, 玉米从出苗到成熟, 在整个生育期里对肥料、水分、光照、温度这些环境因子都有一定的要求, 这些因子都可以通过密度的变化来调控^[1]。前人研究发现, 随着玉米植株密度的不断增加, 光温资源合理有效的利用, 群体和个体的相互发展, 都是实现玉米超高产的重要措施之一^[2]。玉米高产、稳产和优质是粮食安全的重要保障^[3]。种植密度是决定玉米增产的关键性因素, 光合作用是决定玉米单株产量的重要因素, 而叶绿素荧光系列参数是光合作用的直接反映。前人关于不同种植密度对玉米光合特性的影响已经作了大量研究, 结果表明种植密度对光合作用效率影响明显, 低密度条件下, 单株叶面积可调性差^[4-6]。在低密度条件下, 叶片光合速率下降, 衰老速度加快, 光合产物降低, 影响光合速率与净同化率^[7]。该试验通过分析种植密度的变化与玉米叶绿素荧光参数变化之间的规律和密度变化对产量和产量性状

的影响, 探究适合郑单 958 的高产栽培密度。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试品种为河南省农业科学院粮食作物研究所提供的郑单 958。

1.2 试验方法 试验于 2016 年 6-10 月在凤阳雷达山种植基地进行。试验采用随机区组设计, 设 3 个密度(D), 分别为 D₁ (5.25 万株/hm²)、D₂ (6.00 万株/hm²)、D₃ (6.75 万株/hm²), 3 次重复, 行距 60 cm, 株距分别为 31.7、27.8、24.7 cm, 小区宽 3.6 m, 长 6.7 m, 小区面积 24.12 m², 6 月 25 日播种, 施肥和管理同大田一致。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 叶绿素荧光参数测定。 分别在玉米生长的拔节期、抽雄期、吐丝期、灌浆期、成熟期 5 个时期, 采用德国生产的超便携式调制叶绿素荧光仪 MINI-PAM-II 于晴天 9:00 至 12:00 在每小区随机选择 3 个代表性植株进行取样测定, 测定部位为穗位叶叶片中部, 选择叶脉左侧或者右侧 2~3 cm 处为测定点, 每个叶片取相近的 3 个点测定取其平均值, 每次测定植株和叶片测定位置做标记, 以备下一时期测定。测定前用叶夹对叶片暗适应 20 min, 每个小区测 3 株取平均值。测定穗位叶的最低荧光水平(F_o)、最大荧光水平(F_m)、

作者简介 赵玉廷(1963—), 男, 安徽怀远人, 农艺师, 从事玉米育种及生产销售工作。

收稿日期 2018-11-09

光系统II的最大光合效率(F_v/F_m)、光系统II的实际光合效率 $[Y(II)]$ 、光化学荧光淬灭系数(qP)、非光化学荧光淬灭系数(qN)等参数。

1.3.2 考种及产量测定。玉米完全成熟后,全小区收获测产,换算成每公顷产量。每个小区随机选出20个有代表性的玉米穗,测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数、出籽率、百粒重等产量性状。

1.4 数据处理与分析 采用SPSS 19.0软件,用LSD法对数据进行差异显著性分析。利用Excel 2016软件作图和平均值处理。

2 结果与分析

2.1 密度对初始荧光(F_0)的影响 F_0 是叶片经过暗适应之后,光合机构全部光系统II反应中心全部开放时的荧光水平。其值主要与激发光的强度及叶绿素的含量有关,数值升高则表明光系统II反应中心受到伤害或者胁迫。图1表明,处理 D_1 、 D_2 、 D_3 从拔节期到成熟期均在上升,最大值均出现在成熟期;这说明随着密度的增加,郑单958的光系统II受到胁迫,光合作用受到影响。在3种处理下 F_0 值增幅存在差异性,表现为 $D_3 > D_2 > D_1$,差异幅度分别为19.967%、20.734%、24.309%;说明随着密度增加,光系统II反应中心活性降低, D_3 处理下光系统II受到的胁迫更严重。

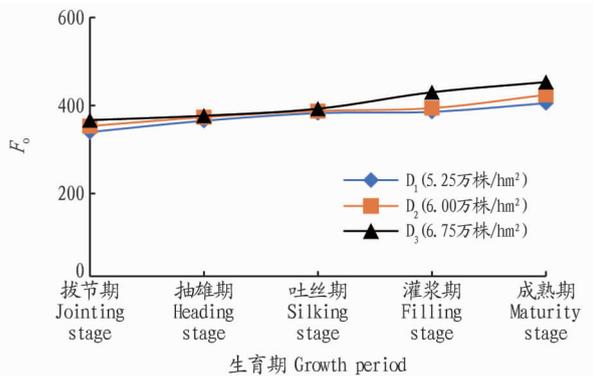


图1 密度变化对叶绿素荧光参数 F_0 的影响

Fig.1 Effects of density change on chlorophyll fluorescence parameter F_0 .

2.2 密度对最大荧光(F_m)的影响 F_m 代表着光系统II反应中心处于完全关闭时的荧光产量,可反映通过光系统II的电子传递状况,其值降低说明电子传递过程受到抑制^[8-10]。图2表明,在3种处理条件下 F_m 值的变化均为吐丝期>抽雄期>拔节期>灌浆期>成熟期,在3种密度下 F_m 值从拔节期一吐丝期呈升高的趋势,吐丝期一成熟期呈下降的趋势。 D_1 处理增加幅度为17.918%,降低幅度为16.311%; D_2 处理增加幅度为22.240%,降低幅度为17.940%; D_3 处理增加幅度为14.554%,降低幅度为24.295%。 D_3 处理对光系统II的影响程度较 D_2 、 D_1 处理大,密度增加抑制了光系统II的电子传递过程。

2.3 密度对叶绿素荧光参数 F_v/F_m 的影响 F_v/F_m 表示光系统II最大光化学量子产量,即最大光合效率, $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$;反映了植物的潜在最大光合能力,是分析光合系统

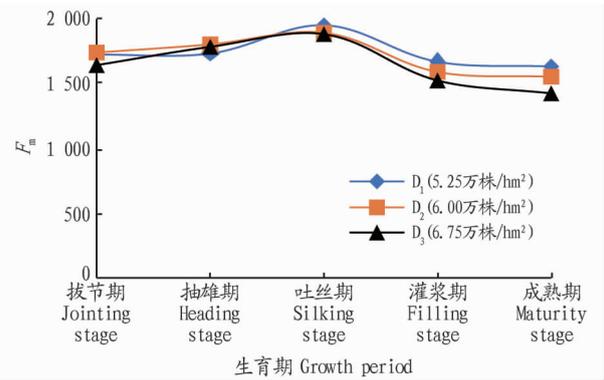


图2 密度变化对叶绿素荧光参数 F_m 的影响

Fig.2 Effects of density change on chlorophyll fluorescence parameter F_m .

的重要指标,用于度量叶片光系统II原初光能转换效率。当植物受到胁迫时, F_v/F_m 显著下降;其值的变化是衡量植物光合性能的重要指标^[11]。图3表明,不同密度处理下郑单958穗位叶 F_v/F_m 总体呈先升高后降低的趋势。3种处理下的 F_v/F_m 含量均在吐丝期达到最大,且 D_1 处理 F_v/F_m 在拔节期大于 D_2 、 D_3 处理,抽雄期3种处理下 F_v/F_m 一致,从吐丝期到成熟期 F_v/F_m 表现均为 $D_1 > D_2 > D_3$ 。吐丝期之后3种处理 F_v/F_m 均出现不同程度的降低。 D_1 处理降幅为6.435%; D_2 处理降幅为9.703%; D_3 处理降幅为12.538%,说明吐丝期之后 D_3 处理下光系统II的最大光化学量子产量下降最大,潜在最大光合效率降低最明显。

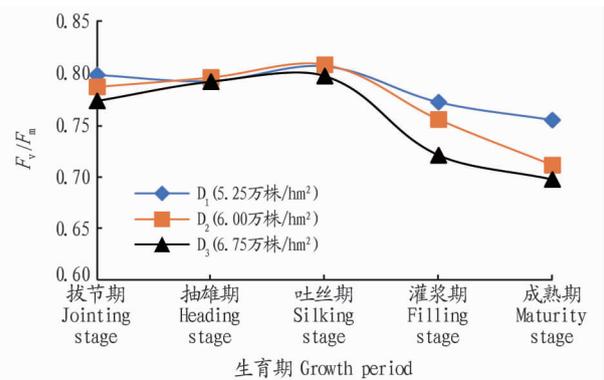
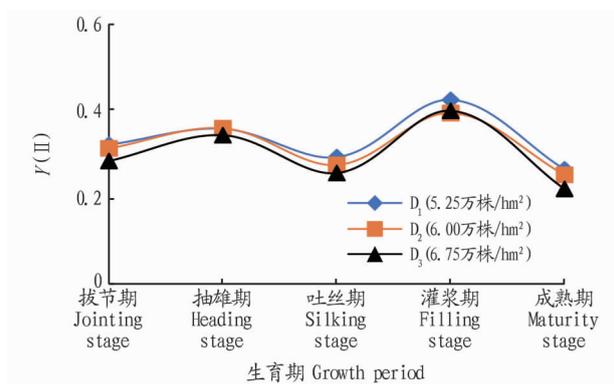


图3 密度变化对叶绿素荧光参数 F_v/F_m 的影响

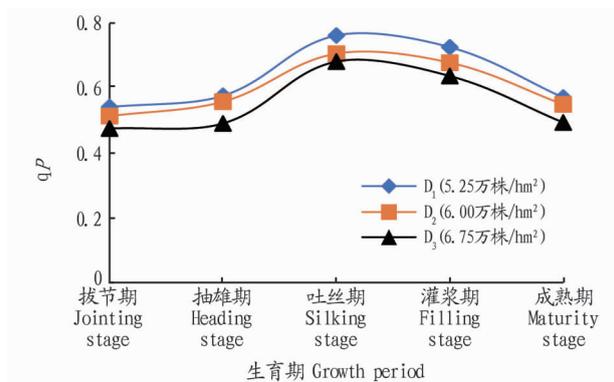
Fig.3 Effects of density change on chlorophyll fluorescence parameter F_v/F_m .

2.4 密度对叶绿素荧光参数 $Y(II)$ 的影响 $Y(II)$ 表示任一光照状态下光系统II的实际量子产量,即实际光合能力或者实际光合效率,其代表了光系统II的潜在活性,其变化趋势反映了受到胁迫后光系统II的实际量子产量的变化。图4表明,郑单958穗位叶 $Y(II)$ 在3种处理条件下最大值都在灌浆期,最小值在成熟期,全生育期整体变化趋势相同,第1个小高峰均出现在抽雄期,第2个高峰均出现在灌浆期,最高值出现在灌浆期的 D_1 处理,此时 $Y(II)$ 值为0.4251,表明 D_1 处理下郑单958的光系统II的实际量子产量最高,实际光合效率也最高。

2.5 密度对叶绿素荧光淬灭的影响 由光合作用引起的荧

图4 密度变化对叶绿素荧光参数 $Y(II)$ 的影响Fig.4 Effects of density change on chlorophyll fluorescence parameter $Y(II)$

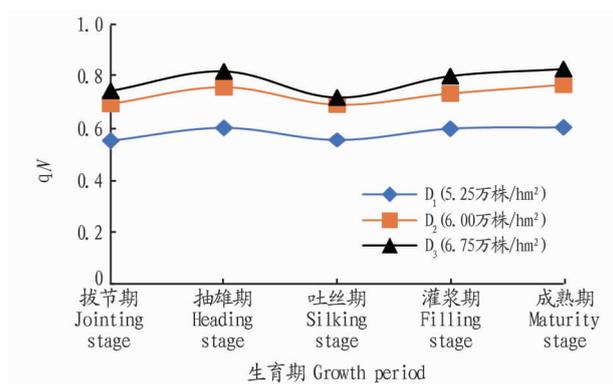
光淬灭称之为光化学淬灭 (qP), 植物光化学淬灭能够反映植物光合活性的高低; 由热耗散引起的荧光淬灭称之为非光化学淬灭 (qN); 而非光化学淬灭能够反映植物将过剩光能转化为热的能力。

图5 密度变化对叶绿素荧光参数 qP 的影响Fig.5 Effects of density change on chlorophyll fluorescence parameter qP

qP 值反应了植物光系统II吸收的光能用于光化学反应的部分^[12]。由图5可看出, 郑单958随着生育期的推进 qP 总体呈先上升后下降的趋势: 吐丝期 > 灌浆期 > 成熟期 > 抽雄期 > 拔节期, 最大峰值出现在吐丝期, 最小值出现在拔节期。 qP 值越大说明用于光化学反应的光能越多。图5表明, 全生育期内 D_3 处理中吸收的光能用于光化学反应的部分少于 D_2 处理, 同样 D_2 处理下的光能利用率低于 D_1 处理, 说明随着密度的增加, 光系统II吸收的光能用于光化学反应的部分在减少, 用于荧光和热耗散的部分在增加, 光合活性降低。

qN 反映光系统II天然色素吸收光能以热的形式耗散掉的部分光能^[13], 是植物的一种自我保护机制^[14]。由图6可看出, 郑单958随着生育期的推进 qN 总体上呈先上升后下降再上升的趋势, 成熟期达到最大值。 qN 值增大说明光系统II反应中心耗散过剩光能的能力增强, 吸收的光能较多以热量耗散掉。 D_3 处理下 qN 值始终最高, D_2 处理大于 D_1 处理, 说明密度越大, 通风透气性越差, 热耗散越大, 积累的热量就越多, 越容易使叶片功能受损。

2.6 密度对产量及产量构成因素的影响 由表1可看出, 在

图6 密度变化对叶绿素荧光参数 qN 的影响Fig.6 Effects of density change on chlorophyll fluorescence parameter qN

不同的密度处理下郑单958的穗粗、穗长、行粒数随着种植密度的增加呈降低趋势; 穗粗、穗长、行粒数在 D_1 处理下均达到最大值。穗粗在 D_1 处理下与 D_2 处理间差异不显著, D_1 处理与 D_3 处理间差异显著, D_2 处理与 D_3 处理间差异显著; 穗长在 D_1 处理与 D_3 处理间差异显著, 与 D_2 处理间差异不显著, D_2 处理与 D_3 处理间差异不显著; 行粒数随密度的增加呈下降趋势; D_1 处理与 D_2 处理间差异显著, D_2 处理与 D_3 处理间差异不显著, D_1 处理与 D_3 处理间差异显著。穗行数随着密度增加变化不明显, 3种处理下差异均不显著, 此性状为该品种固有特性, 环境对其影响较小。出籽率先上升后下降, D_2 处理下达到最大, $D_2 > D_1 > D_3$; D_1 处理与 D_3 处理间差异显著, D_1 处理与 D_2 处理间差异不显著, D_2 处理与 D_3 处理间差异显著。百粒重随着密度增加呈下降趋势, D_1 处理下达到最大值; D_1 与 D_2 处理间、 D_1 与 D_3 处理间、 D_2 与 D_3 处理间均有显著性差异。产量随着密度的增加先上升后下降, $D_2 > D_3 > D_1$, D_2 处理下产量最高, 达到 $9\ 260.43\ \text{kg}/\text{hm}^2$; D_2 处理与 D_1 、 D_3 处理间差异显著, D_1 处理与 D_3 处理间差异不显著。说明 D_2 处理下郑单958产量和产量构成因素更有优势, 更容易获得高产。

3 讨论

3.1 种植密度与叶绿素荧光参数的变化关系 植物在光反应过程中吸收光能的主要物质是靠叶绿素提供的^[15]。 F_0 与光系统II的受损状况有关, 光系统II的破坏和可逆失活可引起 F_0 的增加^[16]。 F_v/F_m 的变化主要因素是在胁迫条件影响, 物种和生长条件的影响对其影响很小, F_v/F_m 值下降, 说明受到胁迫的作用^[17], 与该研究的结果类似, 郑单958穗位叶的 F_0 呈上升趋势, 而 F_m 和 F_v/F_m 先上升后下降, 下降幅度明显; $Y(II)$ 值下降幅度明显, 说明郑单958受密度胁迫严重。光化学淬灭系数的变化中, 随着生育期的推进 qP 总体呈先上升后下降的趋势; D_3 处理降幅大于 D_2 处理, D_2 处理大于 D_1 处理, 说明 D_3 处理下光系统II吸收的光能用于光化学反应的部分最少。 qN 总体呈先上升后下降再上升的趋势, 灌浆期达到最大值, D_3 处理的增幅大于 D_2 处理, D_2 处理大于 D_1 处理, 说明 D_3 处理下光系统II吸收的光能用于热耗散的部分多余 D_2 处理, 而 D_2 处理下热耗散多余 D_1 处理。

表1 密度对郑单958产量性状的影响

Table 1 Effects of density on yield characters of Zhengdan 958

处理 Treatment	穗粗 Ear diameter cm	穗长 Ear length cm	穗行数 Ear row number//行	行粒数 Kernels per row 粒	出籽率 Shelling percentage %	百粒重 100-seed weight g	产量 Yield kg/hm ²
D ₁ (5.25 万株/hm ²)	4.99±0.12 a	16.94±1.43 a	14.53±0.03 a	34.82±1.22 a	0.85±0.17 ac	37.75±0.84 a	8 574.43±33.75 b
D ₂ (6.00 万株/hm ²)	4.94±0.04 ac	16.30±0.40 ab	14.75±0.28 a	32.42±1.38 b	0.87±0.17 a	36.59±1.13 b	9 260.43±179.71 a
D ₃ (6.75 万株/hm ²)	4.51±0.14 b	15.03±0.31 b	14.73±0.21 a	31.42±0.85 b	0.82±0.05 b	34.42±0.76 c	8 726.23±137.94 b

注: 同列不同字母分别表示处理间差异达 0.05 水平。

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

3.2 种植密度与产量及产量性状的变化关系 该试验表明, 在一定程度上玉米种植密度增加能增加单位面积的群体数量, 从而使产量增加; 但产量不是随着密度增加无限制的增加, 密度增加到一定程度后会影响到玉米单株的产量性状, 包括百粒重、出籽率、行粒数、穗长、穗粗都有不同幅度降低。当群体数量优势大于单株的产量优势时, 表现为增产; 当密度对单株产量性状的影响超过群体优势时, 表现为减产。该试验中郑单 958 的最高产量出现在密度为 6.00 万株/hm², 此时产量为 9 260.43 kg/hm²。

4 结论

该试验结果表明, 密度是玉米胁迫因子之一, 可以导致叶绿素荧光的系列参数发生改变。试验中 3 种处理下全生育期 F_v 均在升高, D₃ 处理增幅最大, 表明 D₃ 处理下光系统 II 反应中心活性降低, 光系统 II 受到的胁迫更严重; F_v/F_m D₃ 处理下降幅度最大, 说明 D₃ 处理下玉米受密度胁迫最严重; Y(II) 值 D₂ 处理下最大, 说明种植密度 6.00 万株/hm² 更有利于光合作用, 光合效率最高。该试验中郑单 958 的最高产量出现在 6.00 万株/hm², 表明在该密度下更容易获得高产, 产量性状表现更有优势。

参考文献

- [1] 刘武仁, 刘凤成, 冯艳春, 等. 玉米不同密度的生理指标研究[J]. 玉米科学, 2004, 12(22): 82-83, 87.
- [2] 段民孝. 从农大 108 和郑单 958 中得到的玉米育种启示[J]. 玉米科学, 2005, 13(4): 49-52.
- [49] 向红英, 牛建龙, 彭杰, 等. 棉田土壤水分的高光谱定量遥感模型[J]. 土壤通报, 2016, 47(2): 272-277.
- [50] 程街亮, 纪文君, 周银, 等. 土壤二向反射特性及水分含量对其影响研究[J]. 土壤学报, 2011, 48(2): 255-262.
- [51] SONG L, JIAN J, TAN D J, et al. Estimate of heavy metals in soil and streams using combined geochemistry and field spectroscopy in Wansheng mining area, Chongqing, China[J]. International journal of applied earth observation and geoinformation, 2015, 34: 1-9.
- [52] 张秋霞, 张合兵, 刘文锴, 等. 高标准基本农田建设区域土壤重金属含量的高光谱反演[J]. 农业工程学报, 2017, 33(12): 230-239.
- [53] TAN K, YE Y Y, CAO Q, et al. Estimation of arsenic contamination in reclaimed agricultural soils using reflectance spectroscopy and ANFIS model

- [3] 王福亮. 黑龙江省玉米栽培技术发展及进步[J]. 黑龙江农业科学, 2010(10): 155-156.
- [4] 董树亭, 胡昌浩, 高荣岐, 等. 夏玉米高产群体呼吸速率与光合特性关系的研究[J]. 玉米科学, 1994, 2(3): 61-65.
- [5] BORRÁS L, MADDONNI G A, OTEGUI M E. Leaf senescence in maize hybrids: Plant population, row spacing and kernel set effects[J]. Field Crops Res, 2003, 82(1): 13-26.
- [6] 王群瑛, 胡昌浩. 玉米不同叶位叶片叶绿体超微结构与光合性能的研究[J]. 植物学报, 1988, 30(2): 146-150.
- [7] ANDRADE F H, VEGA C, UHART S, et al. Kernel number determination in maize[J]. Crop Sci, 1999, 39(2): 453-459.
- [8] 柴胜丰, 韦雷, 史艳财, 等. 强光胁迫对濒危植物金花茶幼苗生长和叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物研究, 2012, 32(2): 159-164.
- [9] 刘明, 齐华, 张振平, 等. 不同环境因子对玉米叶绿素荧光特性的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(6): 198-204.
- [10] 孙璐, 周宇飞, 李丰先, 等. 盐胁迫对高粱幼苗光合作用和荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(16): 3265-3272.
- [11] GENTY B, BRIANTAIS J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochimica et biophysica acta, 1989, 990(1): 87-92.
- [12] 罗俊, 张木清, 吕建林, 等. 水分胁迫对不同甘蔗品种叶绿素荧光 a 荧光动力学的影响[J]. 福建农业大学学报, 2000, 29(1): 18-22.
- [13] GOVINDJEE. A role for a light-harvesting antenna complex of photosystem II in photo protection[J]. The plant cell, 2002, 14(8): 1663-1668.
- [14] 王可珍, 许春辉, 赵福洪, 等. 水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素 a 荧光参数的影响[J]. 生物物理学报, 1997, 13(2): 273-278.
- [15] BORRELL A K, HAMMER G L, HENZELL R G. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II. Dry matter production and yield[J]. Crop science, 2000, 40(4): 1037-1048.
- [16] 张雷明, 上官周平, 毛明策, 等. 长期施氮对旱地小麦灌浆期叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 695-698.
- [17] 许大全, 张玉忠, 张荣铨. 植物光合作用的光抑制[J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(4): 237-243.

(上接第 21 页)

- [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014, 7: 2540-2546.
- [54] STAZI S R, ANTONUCCI F, PALLOTTINO F, et al. Hyperspectral visible-near infrared determination of arsenic concentration in soil[J]. Communications in soil science and plant analysis, 2014, 45(22): 2911-2920.
- [55] 江振蓝, 杨玉盛, 沙晋明. GWR 模型在土壤重金属高光谱预测中的应用[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 533-544.
- [56] 张娜, 张栋良, 李立新, 等. 基于高光谱的区域土壤质地预测模型建立与评价: 以河套灌区解放闸灌域为例[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(5): 67-72.
- [57] 王德彩, 张俊辉. 基于 Vis-NIR 光谱的土壤质地 BP 神经网络预测[J]. 天津农业科学, 2015, 21(8): 6-9.