

Effects of Different LED Light Intensity on Growth and Quality of Flowering Chinese Cabbage

Dechui Wei, Shiwei Song*, Houcheng Liu, Riyuan Chen

College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong
Email: 1475125618@qq.com, *swsong@scau.edu.cn

Received: Dec. 9th, 2018; accepted: Dec. 22nd, 2018; published: Dec. 29th, 2018

Abstract

In this experiment, flowering Chinese cabbage was cultivated with nutrient solution to study the effects of 4 LED light intensities (150, 250, 350, 450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, labeled as T1, T2, T3 and T4) on the growth and quality. The results showed that, with the increase of light intensity, the shoot fresh and dry weight, the root fresh and dry weight, the plant height, the stem diameter and the number of leaves showed a trend of increasing first and then decreasing. And T3 treatment was the largest and significantly greater than the other 3 treatments. The chlorophyll content of the flowering Chinese cabbage leaf increased first and then decreased with the increase of light intensity, while carotenoids showed the opposite tendency. With the increase of light intensity, the Vc content of the product organs in flowering Chinese cabbage increased first and then decreased, and reached the highest level in T3. The soluble protein content increased gradually and reached the highest level in T4. The soluble sugar content increased first and then decreased, with the highest content of T3 and the second of T2, and the differences among the treatments were significant. The nitrate content of the flowering Chinese cabbage decreased significantly with the increase of light intensity. Synthesizing growth and quality, the most suitable LED light intensity for plant factory cultivation of flowering Chinese cabbage was 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Keywords

Flowering Chinese Cabbage, Light Intensity, LED, Growth, Quality

不同LED光照强度对菜心生长及品质的影响

韦德吹, 宋世威*, 刘厚诚, 陈日远

华南农业大学园艺学院, 广东 广州

*通讯作者。

Email: 1475125618@qq.com, *swsong@scau.edu.cn

收稿日期: 2018年12月9日; 录用日期: 2018年12月22日; 发布日期: 2018年12月29日

摘要

本试验以菜心为材料, 采用营养液栽培方法, 通过LED调光台设置四种光照强度(150、250、350、450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 分别标为T1、T2、T3、T4)对菜心生长和品质的影响。结果表明: 随着光照强度的增高, 各处理菜心的地上部鲜重、地下部鲜重、地上部干重、地下部干重、株高、茎粗、叶片数呈现先升高后降低的明显趋势, T3处理最大并且显著大于其它3个处理。菜心的叶绿素含量随着光强增加呈现先升高后降低的趋势, 而类胡萝卜素则反之。随着光照强度的增高, 菜心产品器官的Vc含量呈现先增高后降低的明显趋势并以T3达最高, 可溶性蛋含量逐渐升高并以T4最高。可溶性糖含量呈现先增高后降低的明显趋势并以T2最高T3次之, 且各处理间差异显著。菜心的硝酸盐含量随着光强的增高而显著降低。综合生长和品质, 菜心全人工光LED栽培最适宜的光强为350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

关键词

菜心, 光照强度, LED, 生长, 品质

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

LED (Light-Emitting Diode)作为冷光源, 具有节能高效的特征, 随着技术的发展, 应用LED灯调控作物生长、提高产量在农业生产中越来越普遍[1]。以LED补光的植物工厂能通过精确的光温环境调控来提高作物的产量和品质。植物工厂主要种植芽苗菜[2] [3]及叶菜类蔬菜[4] [5] [6], 并进行了较多的光照环境调控的研究报道。

光照强度是植物生长的重要光照参数, 光质的调控只有在合适的光照强度下才有意义[7]。光是植物合成有机物的能源, 其强度大小直接影响植物形态生长和品质形成[8]。提高光强能够促进白菜[9]、番茄[10]、生菜[11]等的生长, 有利于提高叶用莴苣的营养品质[7]。过高的光强会使植株出现萎蔫、叶片小而厚及叶色变黄等症状[12]。而过低光强下植株会出现徒长、叶色减淡、叶片变薄[13]、茎粗变小, 叶数变少, 节间变长[14], 干质量降低[15]等症状。高光强可提高几种蔬菜的可溶性糖及Vc含量, 降低硝酸盐含量[9] [10], 低光强下生菜有机化合物浓度及产量均降低, 硝酸盐含量上升[16] [17]。因此人工光源条件下开展光照强度对植物生长发育、产量品质形成影响的研究具有重要的意义。

菜心(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee), 又名菜薹, 是华南地区栽培的特色蔬菜之一[18]。菜心是广东省栽培面积最大、周年生产供应的重要蔬菜, 因其口感脆嫩、风味独特以及营养物质丰富, 深受消费者喜爱。本课题组前期研究了LED光质补光[19]和暗期间断[20]对菜心生长及品质的影响, 现在进一步在完全人工光条件下研究LED光照强度的效应, 以期获得植物工厂条件下菜心优质高效生产的光环境参数, 并为菜心栽培管理的光环境调控提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 材料及处理

试验采用的菜心品种为“油绿 33 号”，为多代自交种，购于广东省佛山市穗美绿种子店。试验于 2018 年 7 月至 8 月在华南农业大学园艺学院进行。菜心种子浸种催芽后播种于海绵块，然后将海绵块浸湿置于装有少量清水的塑料盘中。待菜心幼苗生长到 3 叶 1 心，选取长势相近的健壮幼苗移栽到嵌有小孔的泡沫板上，每孔 1 株，每板 8 株，放置于蓝色塑料水培盘上，作为 1 个重复。营养液采用 1/2 剂量的 Hoagland's 配方，调节 pH 6~6.5。每 3 d 用去离子水补充至原体积，期间用通气泵每隔 30 min 通气 15 min。水培盘放置在两层的培养架上，采用完全 LED 灯进行光照处理，LED 灯(调光台)由惠州可道科技股份有限公司生产。试验期间的昼夜温度为 $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 60%~80%。设置红光、蓝光、绿光比例为 6:1:3 复合白光，照光时间为 12 h (6:00~18:00)。总光照强度分别设为 $150 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T1)、 $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T2)和 $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T3)、 $450 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T4)四个处理，每处理重复 4 次(4 盘)。RBG 复合光的光谱分布见图 1，其红光的峰值波长为 660 nm，蓝光的峰值波长为 450 nm，绿光的峰值波长为 520 nm，光周期为 12 h 用光量子计测定光照强度，根据植株生长高度上下调整光源位置。

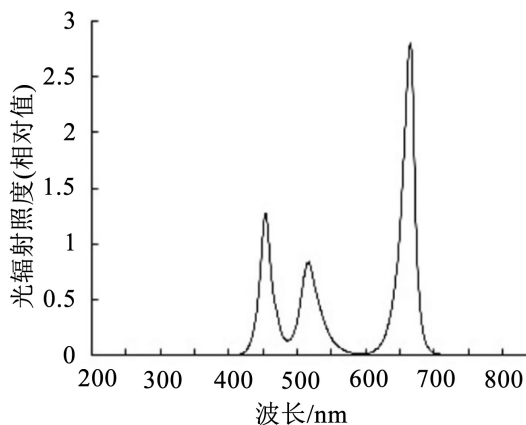


Figure 1. Spectrum distribution of LED in the experiment

图 1. 试验用 LED 的光谱分布图

2.2. 指标测定

80%菜心达到齐口花的采收标准时取样。随机从每一重复里选 4 株，测定其地上部鲜重、地下部鲜重、地上部干重、地下部干重、株高、茎粗、叶片数。株高用直尺测量，茎粗(第 4~5 片真叶之间)用游标卡尺测量，用天平测量完植株地上部和根系鲜重，放入烘箱， 105°C 杀青 15 min，然后在 75°C 下烘干至恒重，再称量获得干重。

每个重复随机选取 4 株菜心作为一个样品，选取产品器官测定品质指标。用蒽酮比色法测定可溶性糖含量，用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量，用 2,6 二氯酚靛酚滴定法测定 Vc 含量，用水杨酸比色法测定硝酸盐含量[21]。取第 4~5 片真叶，采用 80%丙酮浸提法测定叶绿素含量[21]。

2.3. 数据分析

试验数据利用 SPSS17.0 统计软件进行差异显著性分析，使用 LSD 多重比较法进行方差分析，采用 Excel 2007 作图。

3. 结果与分析

3.1. 不同光照强度对菜心生长的影响

不同光照强度处理的菜心生长差异显著(表 1)。随着光照强度增高, 菜心的各生长参数均呈现先升高后降低的趋势, T3 处理菜心的地上部鲜重、地下部鲜重、地上部干重、地下部干重、叶片数、株高、茎粗都显著大于其它处理。这表明在单一 LED 光源下, 菜心生长适宜的光强为 $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 过高或过低的光强都会抑制其正常生长。

Table 1. Effect of different light intensity on the growth of flowering Chinese cabbage

表 1. 不同光照强度对菜心生长的影响

处理	地上部鲜重 (g/株)	地上部干重 (g/株)	地下部鲜重 (g/株)	地下部干重 (g/株)	叶片数 (片)	株高 (cm)	茎粗 (mm)
T1	26.30 ± 1.09c	2.47 ± 0.02c	2.80 ± 0.11d	1.45 ± 0.04c	12.0 ± 0.27d	6.4 ± 0.21c	11.6 ± 0.11c
T2	40.74 ± 1.76b	3.54 ± 0.15b	4.51 ± 0.05c	2.28 ± 0.07b	14.0 ± 0.27b	7.3 ± 0.22b	13.1 ± 0.21b
T3	51.36 ± 4.38a	4.75 ± 0.62a	5.89 ± 0.40a	3.27 ± 0.62a	14.9 ± 0.42a	9.0 ± 0.25a	14.7 ± 0.15a
T4	39.75 ± 2.26b	3.74 ± 0.15b	5.21 ± 0.05b	2.49 ± 0.61b	13.3 ± 0.47c	6.6 ± 0.16c	13.7 ± 0.42b

注: 表中 T1、T2、T3 和 T4 分别代表光照强度为 150、250、350、450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。同列中不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

3.2. 不同光照强度对菜心叶片光合色素含量的影响

不同光照强度处理的菜心叶片光合色素含量存在显著差异(表 2), 随着光照强度增高, 各处理菜心的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量都呈现先增高后降低的趋势, 其中以 T2、T3 处理最大并显著高于其它 2 个处理。而类胡萝卜素含量则以 T1、T4 处理的含量最高。

Table 2. Effect of different light intensity on photosynthetic pigments content (SPAD) of flowering Chinese cabbage

表 2. 不同光照强度对菜心光合色素含量(SPAD)的影响

处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素总含量	类胡萝卜素
T1	30.92 ± 1.49bc	11.59 ± 1.1b	42.98 ± 2.59c	3.49 ± 0.41a
T2	32.69 ± 0.70ab	13.96 ± 0.79a	47.14 ± 1.48b	2.89 ± 0.35b
T3	33.58 ± 0.53a	15.39 ± 0.95a	49.48 ± 1.4a	2.04 ± 0.28c
T4	29.38 ± 1.25c	10.55 ± 0.87b	40.38 ± 2.13c	3.93 ± 0.32a

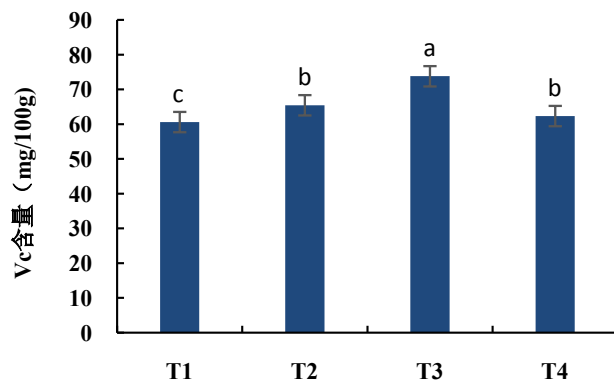
3.3. 不同光照强度对菜心品质的影响

不同光照强度处理菜心产品器官的品质存在显著差异。随着光照强度增高, 菜心可溶性糖、Vc 含量随光照强度增高呈现先增高后降低的趋势。其中 Vc 含量以 T3 处理达最高(图 2), 可溶性糖含量以 T2 处理达最高(图 3)且差异性显著。随着光照强度增高, 菜心的可溶性蛋白含量逐渐升高, T4 处理最高, 并且处理间显著差异明显(图 4)。随光强增高, 硝酸盐含量呈现逐渐降低的趋势, 其中低光强的 T1、T2 处理下菜心的硝酸盐含量显著高于高光强的 T3、T4 处理(图 5), 表明高光强有利于降低产品器官的硝酸盐含量。

4. 讨论与结论

光对植物的生长发育有显著影响。植物的形态差异和生长状况是其对光照环境的自适应, 光照过强或过弱都会限制植物的生长[22]。本试验发现, 光照强度在 $150\sim 450 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 菜心的各生长参数均呈现先升高后降低的趋势, 过高或过低光强都不利于菜心生长。这与前人在小白菜[9]、番茄[10]、生菜[11]

[23]上的研究结果一致。本研究中随着光照强度的增高,菜心的叶绿素含量先增高后降低,这与前人在樱桃萝卜上的研究结果一致[24]。当光强超过 $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时菜心的生物量和叶绿素含量都下降,这表明在 LED 人工光下, $350\sim 450 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 可能已经达到了其光饱和点。



注:不同小写字母表示差异达到显著水平($P < 0.05$),下同。

Figure 2. Effect of different light intensity on Vc content in flowering Chinese cabbage

图 2. 不同光照强度对菜心 Vc 含量的影响

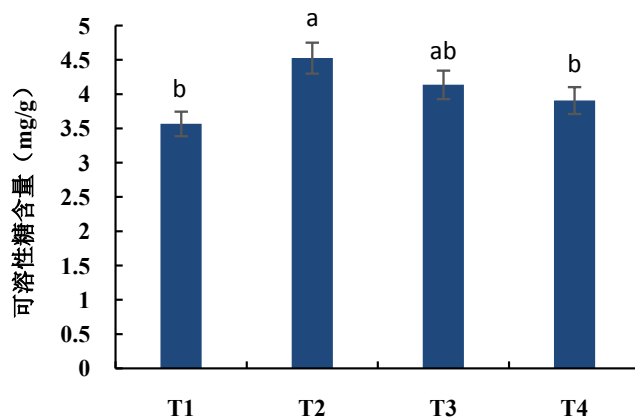


Figure 3. Effect of different light intensities on soluble sugar content in flowering Chinese cabbage

图 3. 不同光照强度对菜心可溶性糖含量的影响

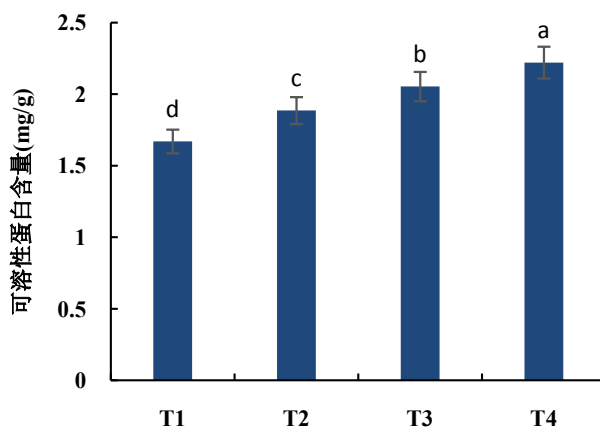


Figure 4. Effect of different light intensity on the content of soluble protein in flowering Chinese cabbage

图 4. 不同光照强度对菜心可溶性蛋白含量的影响

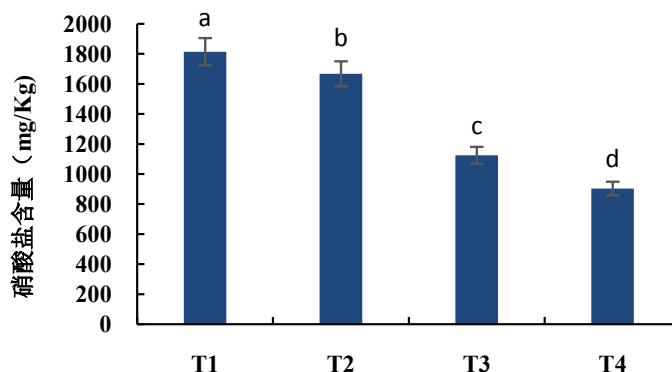


Figure 5. Effect of different light intensity on nitrate content in flowering Chinese cabbage
图 5. 不同光照强度对菜心硝酸盐含量的影响

光强的大小也会直接影响作物品质形成。本研究中菜心产品器官的可溶性糖和 Vc 含量随光照强度增高先增大后减小，这与前人在白菜[9]和生菜[11]上研究的结果一致。本研究中随着光照强度的增高，菜心的硝酸盐含量降低，这与在蒲公英上研究结果一致[25]。这是因为较高的光照强度增加了作物硝酸还原酶的活性，提高了氮素同化能力[26]。

不同 LED 光照强度处理显著影响了菜心的生长及品质。综合来看，菜心全人工光 LED 栽培最适宜的光强为 $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。我们前期研究了不同光质补光对菜心生长及品质的影响[19]，但是还缺乏全人工光管理下菜心的光质和光周期需求特性，因此后续有必要在植物工厂条件下进行系统研究，才能获得菜心的光环境参数。

基金项目

广东省科技计划项目(2015A020209146); 广州市科技计划项目(201704020006, 201704020058)。

参考文献

- [1] 刘文科, 杨其长, 魏灵玲. LED 光源及其设施园艺应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
- [2] 刘文科, 杨其长, 邱志平, 等. LED 光质对豌豆苗生长、光合色素和营养品质的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 500-504.
- [3] 刘素慧, 张立伟. 红蓝光质对香椿芽苗菜营养品质的影响[J]. 中国农业气象, 2015, 36(3): 306-312.
- [4] Goto, E. (2012) Plant Production in a Closed Plant Factory with Artificial Lighting. *Acta Horticulturae*, **956**, 37-49. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.2>
- [5] Shiina, T., Hosokawa, D., Roy, P., et al. (2011) Life Cycle Inventory Analysis of Leafy Vegetables Grown in Two Types of Plant Factories. *Acta Horticulturae*, **919**, 115-122. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.919.14>
- [6] Kang, J.H., Krishnakumar, S., Atulba, S.L.S., et al. (2013) Light Intensity and Photoperiod Influence the Growth and Development of Hydroponically Grown Leaf Lettuce in a Closed-Type Plant Factory System. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, **54**, 501-509. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0109-8>
- [7] 王志敏, 宋非非, 徐志刚, 等. 不同红蓝 LED 光照强度对叶用莴苣生长和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2011, 1(16): 44-49.
- [8] 王沅, 田正国. 小麦小花发育不同时期遮光对穗粒数的影响[J]. 作物学报, 1981, 7(3): 157-163.
- [9] 丁娟娟, 杨振超, 王鹏勃, 等. LED 光强对不结球小白菜生长与光合特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版). 2015, 43(3): 113-118.
- [10] 陈丹艳. 植物工厂中光强、CO₂、营养液调控对生菜和番茄生长的影响[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [11] 王君. 红蓝光下不同光强和光质对比对生菜光合能力影响机理[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2016.

- [12] Matos, F.S., Wolfgramm, R., Cavatte, P.C., *et al.* (2009) Phenotypic Plasticity in Response to Light in the Coffee Tree. *Journal of Environment and Experiment Botany*, **67**, 421-427. <https://doi.org/10.1016/j.envenxpbot.2009.06.018>
- [13] 战吉宬, 黄卫东, 王利军. 植物弱光逆境生理研究综述[J]. 植物学通报, 2003, 20(1): 43-50.
- [14] 乔新荣. 光照强度对烤烟生长发育、光合特性及品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 郑州, 河南农业大学, 2007.
- [15] 陈青君, 张福埏. 不同品种黄瓜在低温弱光胁迫和恢复过程中的光合特性[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 30-35.
- [16] 周晚来. 采收前短期连续光照降低水培生菜硝酸盐含量的效果研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [17] Zndstra, M. and Lampe, L.E.M. (1985) The Role of Nitrate in the Osmoregulation of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Grown at Different Light Intensities. *Journal of Experimental Botany*, **36**, 1043-1052. <https://doi.org/10.1093/jxb/36.7.1043>
- [18] 蔡绵聪, 李淑仪, 陈真元, 等. 菜心氮磷钾施肥效应研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 126-132.
- [19] 何建文, 刘向阳, 熊志豪, 等. 不同光质补光对菜心生长及品质的影响[J]. 照明工程学报, 2018, 29(4): 31-34, 61.
- [20] 陈丽丽, 宁哲, 戴晓萍, 等. 暗期间断对菜心生长和品质的影响[J]. 农业工程技术, 2018, 38(7): 22-25.
- [21] 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.
- [22] 刘晓英. LED光源对樱桃番茄生育和光合作用影响的研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [23] 方舒玲, 胡笑涛, 王文娥, 等. 光照强度和营养液浓度对水培生菜产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2017(13): 97-102.
- [24] 查凌雁, 刘文科. 不同光强下红蓝光配比对樱桃萝卜生长与产量的影响[J]. 中国农业气象, 2018, 39(3): 162-167.
- [25] 赵磊, 杨延杰, 林多. 光照强度对蒲公英光合特性及品质的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(6): 1555-1558.
- [26] 王强, 钟旭华, 黄农荣, 等. 光、氮及其互作对作物碳氮代谢的影响研究进展[J]. 广东农业科学, 2006(2): 37-40.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjas@hanspub.org