

植物工厂间歇式人工光源的试验研究

时志立, 胡圣尧, 毛罕平, 周亚波

(江苏大学 现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 江苏 镇江 212013)

摘要: 设计了用于植物工厂的间歇式人工光源,混合使用发光二极管(Light-Emitting Diode, LED)和荧光灯,光合有效辐射(Photo-synthetically Active Radiation, PAR)最高为 $550\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。通过生菜栽培试验,研究3个不同光波动周期(40/40、80/40、120/40)对生菜生理和生长的影响。结果表明:光波动环境可提高生菜的光合能力,生菜的叶绿素在光波动周期较短时含量较高,生菜的干鲜质量随着光波动周期缩短而降低,光波动环境下生菜的单位功耗产量要高于固定光源。

关键词: 植物工厂; 生菜; 光波动; 产量; 能耗

中图分类号: S123

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2015)06-0141-05

0 引言

农业是资源消耗型产业,传统农业资源(养分、水、土地等)的日益短缺和枯竭严重限制了农业的可持续发展潜力^[1]。传统农业依赖于外界自然环境,产量和品质均易受到自然环境中的温度、湿度、光照等因素的影响,不能连续稳定地提供农产品。现阶段农业实际生产中化肥和农药过量使用,导致水体和土壤的重金属污染逐渐加重,不仅影响植物的生长发育,而且污染物在植物叶、茎、根、籽实中大量积累,食用重金属含量超标的农作物会对人体健康造成极大的危害^[2-4]。另外,我国还面临着人多地少、自然资源相对贫乏和资源利用率低等问题。要解决上述问题,就需要转变传统农业的生产模式,采用更先进的农业生产技术。

植物工厂作为一种全新的农业生产模式,具有环境可控、栽培时间短、不受气候影响、可实现持续稳定生产、全封闭、无虫害、不用农药、安全性高、不受地域限制、节省耕地、自动化成度高、劳动强度低等特点^[5]。但是,植物工厂本身还存在着设备投资大、耗电多等制约因素,研究如何降低成本已成为最近研究的热点。植物工厂的能耗成本占总体运营成本的

50%~60%,而人工光源占据总能耗的70%~80%,因此减少人工光源的能耗对降低植物工厂运营成本有重大意义。

LED光源相对荧光灯等传统灯具价格较高,若全部采用LED作为植物工厂的人工光源将导致初期投资成本过高。虽然荧光灯的光能转换率要低于LED,但其光谱覆盖面广,可以补充LED人工光源缺少的光谱成分。采用LED与荧光灯混合人工光源的办法可以在不降低人工光源光强的基础上,降低人工光源初期投入,有利于植物工厂的推广与应用。

前人研究表明,间歇式光照可以提高植物的光合能力^[7-10],LED发热量小,可以长时间使用,但荧光灯发热量高,如果不能及时减少人工光源散发的热量,会导致植物灼伤。本文的设计思路是采用间歇式人工光源,将LED一直点亮,周期性开关荧光灯以降低荧光灯的使用时间,从而减少其热量积聚。

1 间歇式人工光源设计

荧光灯和LED分别选择上海农卉T5-28植物用高效用全光谱荧光灯的和PHILIPS公司的GreenPower DR/W120LED生产模组。T5-28和GreenPower DR/W120LED生产模组分别如图1和图2所示。

T5-28和DR/W120的光谱能量对比图如图3所示,两种形式的光源均在440nm和650nm左右有一个能量聚集区。这两个光谱区域是植物生长所需要的重要光谱范围,表明两种人工光源均能满足植物生长的需求。其中,DR/W120的能量相对较为集中,这是LED光源的优势所在,但其价格过高依然限制着其在国内的大规模应用。

收稿日期: 2014-06-03

基金项目: 江苏省高校自然科学重大项目(10KJA210010);江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX13_67);江苏省高校自然科学研究面上项目(13KJD510001)

作者简介: 时志立(1987-),男,河南驻马店人,硕士研究生,(E-mail)zhilishi@163.com。

通讯作者: 毛罕平(1961-),男,浙江宁波人,教授,博士生导师。



图1 上海农卉 T5-28



图2 PHILIPS DR/W 120

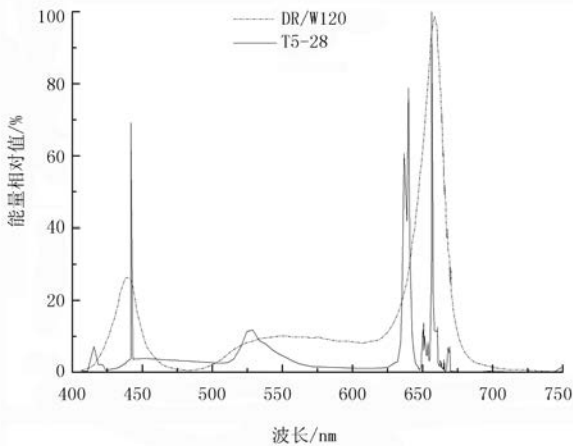


图3 T5-28 和 DR/W 120 人工光源光谱组成对比图

人工光源安装如图4所示。LED光源和荧光灯相间安装,由于荧光灯的平均每根的光强为LED光源的1/2,所以将其安装密度定为1:2,以达到均匀分配LED和荧光灯光源的目的。LED的光能转换率高,以LED DR/W 120为作为基础光源可以节省更多电能;以荧光灯 T5-28 作为补充光源,可以用来增加光强,还可用来研究光波动对植物的影响。

荧光灯 T5-28 采用时间控制开关作为定时开关,间歇光照控制系统如图5所示。图5中,HF表示 T5-28 荧光灯;LED表示 DR/W 120 LED。时间控制开关

2可以控制 T5-28 的开关时间周期,时间控制开关 1 则用来控制所有光源的开关时间周期,电表用来计量该组人工光源产生的能耗,线路中空气开关用来防止因室内人工光源电气故障引起的安全问题。

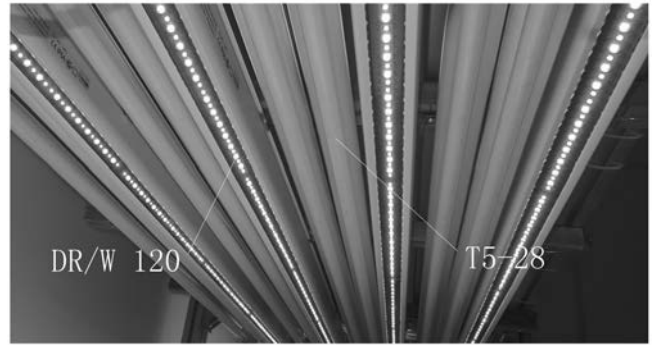


图4 间歇式光照人工光源

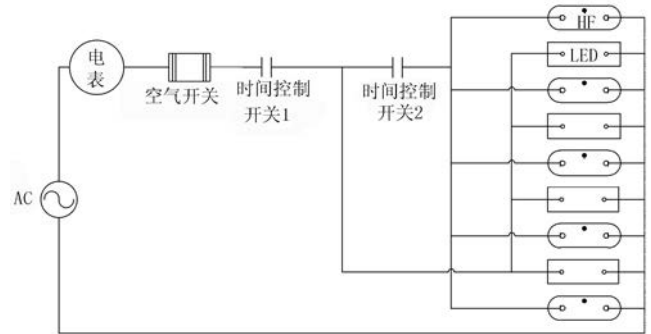


图5 间歇光照控制图

间歇式人工光源时间控制系统实物如图6所示。设置电表1是用来记录光源的能耗,双线空气开关2(2p-25A)起保险作用,开关3为两个时间控制开关(KG2516),可以实现两个时序的控制。



图6 间歇式光照人工光源

2 试验材料与方法

2.1 试验材料

生菜品种是意大利全年耐抽苔生菜(Lactuca Sati-va L., 南京沃蔬种业有限公司)。

2.2 试验设计

将生菜种子用湿纱布包裹后放置 24h, 然后播种于 72 孔穴盘中。育苗基质的配比泥炭:蛭石为 3:1, 播种后置于温室内日常浇水管理, 长至四叶一心时移植至水培栽培床。营养液配方采用华南农业大学叶菜 B 配方(1990), 配方如表 1 所示。微量元素采用通用配方, 如表 2 所示。

表 1 华南农业大学叶菜 B 配方(1990) mg/L

| | | | | | | |
|----|---|------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 成分 | Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O | KNO ₃ | HH ₄ NO ₃ | KH ₂ PO ₄ | K ₂ SO ₄ | MgSO ₄ · 4H ₂ O |
| 浓度 | 472 | 202 | 80 | 100 | 174 | 246 |

表 2 通用微量元素配方 mg/L

| | | | | | | |
|----|------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 成份 | EDTA-2NaFe | H ₃ BO ₄ | MnSO ₄ · 4H ₂ O | ZnSO ₄ · 7H ₂ O | CuSO ₄ · 5H ₂ O | (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O |
| 浓度 | 40 | 2.86 | 2.13 | 0.22 | 0.08 | 0.02 |

昼夜温度分别控制在 22℃ 和 18℃, 相对湿度为 50%; 每天光照时间为 7:00-23:00, 持续光照 16h; 采用间歇式人工光源, 在低光强周期时只打开 LED 灯管, PAR 为 300 μmol/(m² · s); 高光强周期时, 同时打开所有荧光灯和 LED, PAR 达到 550 μmol/(m² · s)。高低光周期试验设计如表 3 所示。对比试验打开所有的 LED 和 1/2 的荧光灯, 光强 PAR 达到 450 μmol/(m² · s)。

表 3 光周期试验设计 min

| 因素 | 低光周期 | 高光周期 |
|--------|------|------|
| 40/40 | 40 | 40 |
| 80/40 | 80 | 40 |
| 120/40 | 120 | 40 |

各处理的光波动周期如图 7 所示。

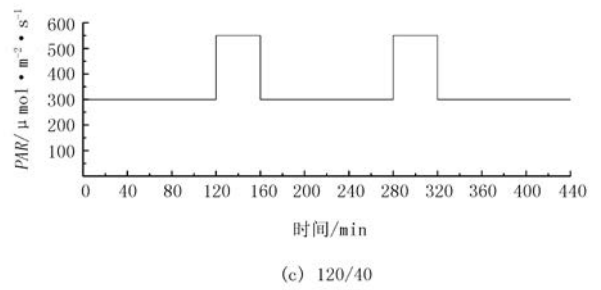
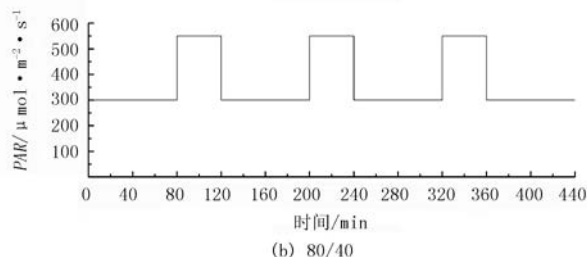
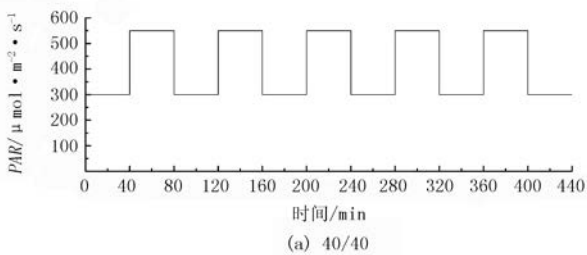


图 7 光波动周期图

2.3 测定方法

生菜幼苗于 2014 年 3 月 18 日定植, 进行光波动处理, 处理 7 天后开始采集数据, 4 月 10 日收获后测量干重。栽培实验环境如图 8 所示。



1. 生菜 2. 栽培槽 3. 间歇式人工光源

图 8 生菜栽培试验环境

1) 株高和鲜质量。株高为栽培板距离生菜茎中心线最高点的距离; 每隔一天随机抽取 3 株进行测量。鲜质量采用称重法, 每个处理选取一块栽培板, 将栽培板连同生菜控水 3min 后测量总质量, 总质量减去栽培板及定植槽的质量为生菜的鲜质量。

2) 光合速率。光合速率采用美国产 Li-6400 便携式光合作用仪测量净光合速率 (ph)、气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci)、蒸腾速率 (Tr) 等。测量时间为每天上午 9:00-11:00。

3) 叶绿素。叶绿素采用 SPAD-502 叶绿素仪进行测定, 每次测量选取最新生成完全展开叶片, 每个处理重复 6 次。

4) 地上和地下部分干重及茎粗。采收后将生菜从根茎处剪开, 分别测量株高、茎粗、地上和地下部分鲜质量。干质量采用烘干法, 将地上及地下部分鲜样分装后在烘箱中以 105℃ 杀青 15min, 然后以 80℃ 将鲜样烘干至恒定质量, 称重测量干重, 最后根据数据计算含水率及根冠比。

2.4 数据处理方法

数据处理采用 SPSS 的单因素方差分析。假定方差齐性采用 Duncan 极差法。

3 结果与分析

3.1 光波动周期对生菜光合能力的影响

表4是在光波动周期内人工光源为低光强时所得数据,每个处理选3片最新长成的完全展开叶片,每个处理重复6次。结果表明:在低光情况下,生菜的光合速率随着低光周期的增大而减小。CK对照的净光合速率最高,这是因为其光强一直恒定,且大于其它各处理的低光强。处理40/40的净光合速率高于其它光波动处理。

表5是在光波动周期内高光强所测得的光合作用相关参数,其结果与表4相似,同样可以得出处理40/40的光合速率为最高。由于光波动处于高光周期时,其光强要高于CK对照,所以各光波动处理的光合速率均要高于CK对照。

表4 不同处理低光下生菜光合参数

| 处理 | 净光合速率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | 气孔导度 / $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | 蒸腾速率 / $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ |
|--------|--|--|--|
| 40/40 | 7.44±0.188a | 0.1±0.006a | 2.04±0.108a |
| 80/40 | 6.81±0.25b | 0.1±0.009ab | 1.95±0.136a |
| 120/40 | 6.04±0.118c | 0.11±0.009ab | 2.14±0.153ab |
| CK | 8.15±0.266d | 0.13±0.006b | 2.55±0.103b |

表5 不同处理高光下生菜光合和气体交换参数

| 处理 | 净光合速率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | 气孔导度 / $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | 蒸腾速率 / $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ |
|--------|--|--|--|
| 40/40 | 11.53±0.356a | 0.14±0.011a | 2.48±0.143a |
| 80/40 | 10.99±0.302a | 0.17±0.008b | 3±0.108b |
| 120/40 | 10.09±0.281b | 0.11±0.005c | 2.28±0.099b |
| CK | 8.57±0.266c | 0.12±0.006c | 2.4±0.103b |

结果表明,不同光波动周期会影响低光下植物的光合速率,光合速率随低光周期的增长而下降。

3.2 叶绿素含量的变化

植物叶片组织中的叶绿体是进行光合作用的细胞器,其包含的叶绿素可以吸收光能,为植物光合作用提供能量。叶绿素的含量是反映植物生长状况的一个重要指标。光波动周期性给予生菜高低光强,会影响其叶绿素的含量。每个处理重复18次,数据用SPSS20.0进行单因素方差分析,结果如图9所示。

数据表明:处理80/40的叶绿素含量为30.77要高于其它各处理差异不显著($P<0.05$);处理40/40的叶绿素含量29.75虽然高于处理120/40的28.73,

但仍低于处理80/40;CK对照的叶绿素含量为29.18要高于处理120/40,但与处理40/40差异不显著($P<0.05$);处理40/40虽然每天的光积分要大于80/40,但其光波动周期过短,导致植物不能很好地适应变化,从而其叶绿素含量低于处理80/40。

该数据表明,处理80/40下生菜的叶绿素含量最高,在光波动情况下合适的低光周期可提高植物的叶绿素含量。

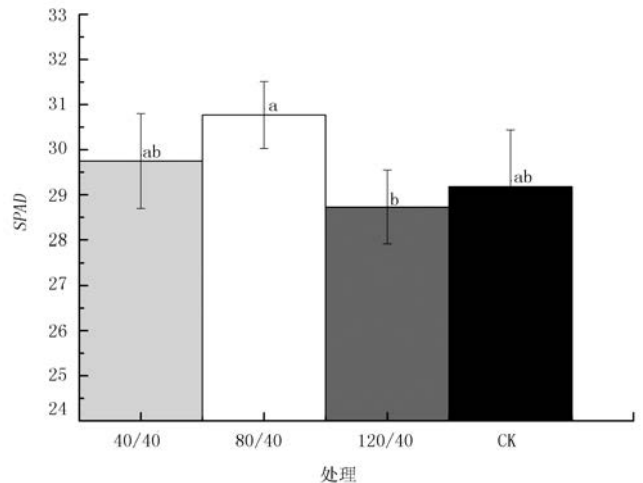


图9 不同光波动周期叶绿素含量的影响

3.3 光波动周期对生菜产量的影响及其经济性

图10是不同处理下生菜地上和地下干质量的对比图。数据表明:40/40处理下植物的地上干质量最大,高于其它处理;80/40处理下地上干质量最低,与120/40处理无显著差异;CK对照地上干质量要高于处理80/40,地下干质量与处理40/40和CK对照差异不显著,表明光波动周期会影响生菜的干物质积累。

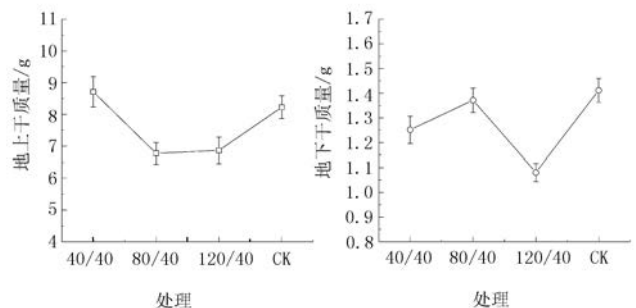


图10 不同光波动周期对生菜干质量的影响

图11是不同光波动周期对生菜地上和地下鲜质量的影响。数据表明:40/40处理下的地上鲜质量均高于其它各处理,处理120/40的地上鲜质量和地上鲜质量最低;CK对照的地上鲜质量和处理40/40和处理80/40差异不显著。数据表明,生菜的地上鲜质量会随着光波动周期的延长而减少。这说明,过长的光波动周期不利于生菜的生长。

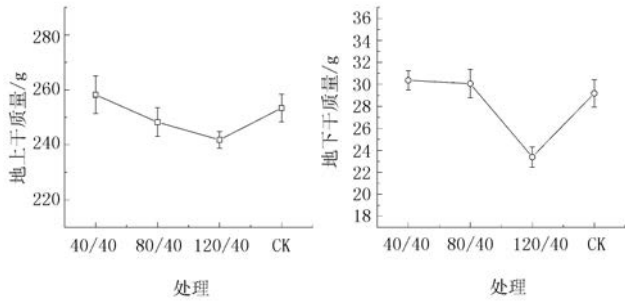


图11 不同光波动周期下对生菜鲜质量的影响

图12为不同光波动周期对生菜株高和茎粗的影响。光波动处理下的生菜茎粗要小于CK对照,但差异并不显著($P < 0.05$);120/40处理生菜的株高高于其它各处理,80/40处理的生菜株高最低。该数据表明,光波动周期的不同对茎粗影响较小。

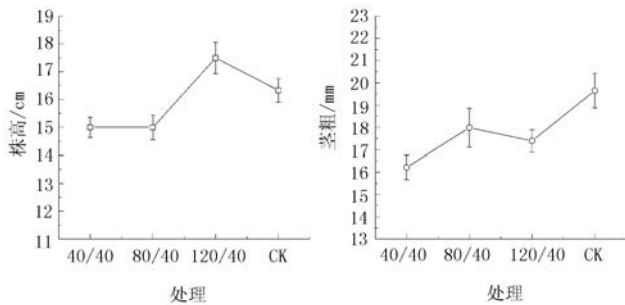


图12 不同光波动周期下对生菜株高和茎粗的影响

根据测得生菜鲜质量和功耗,由公式可算出每 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 电量所能生产的生菜鲜质量 I ,单位为 $\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$,即

$$I = \frac{m}{Q}$$

其中, Q 为总功耗 ($\text{kW} \cdot \text{h}$); m 为收获的生菜的总鲜重。计算后结果如表6所示。光波动周期中,低光周期越长,生菜的单位功耗产出就越大,120/40处理下的 I 值为最高。试验表明,实际生产中可采用低光周期较长的光波动环境,以增加单位功耗产出。

表6 单位功耗产出

| 处理 | $I/\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$ |
|--------|--|
| 40/40 | 50.100 |
| 80/40 | 58.770 |
| 120/40 | 62.700 |
| CK | 49.059 |

4 结论

在3种不同的光波动周期(分别为40/40,80/40,120/40)环境下进行生菜栽培试验,结果表明:在光波动环境下随着波动周期的缩短,生菜的鲜重呈上升趋势。当处理低光周期延长时,会降低生菜干物质的积累。在植物处于光波动低光强时,生菜的光合速率随低光周期的延长而降低。处理80/40下生菜的叶绿素含量最高,这表明合适的光波动周期可以促进叶绿素的生成。综合生菜的功耗和产量表明,与普通光照环境相比,合适的光波动周期可提高生菜单位功耗的产出,具有一定的生产指导意义。

参考文献:

- [1] 杨其长. 植物工厂与垂直农业及其资源替代战略构想 [C]//2011 第二届中国·寿光国际设施园艺高层学术论坛论文集. 北京:中国农业科学技术出版社,2011.
- [2] 姚黎霞,茹巧美,何良兴. 蔬菜重金属元素污染研究进展 [J]. 现代农业科技,2013(22):208-210.
- [3] 毛明翠,黄标,李元,等. 我国北方典型日光温室蔬菜生产系统土壤重金属积累趋势 [J]. 土壤学报,2013(4):835-841.
- [4] 史海娃,宋卫国,赵志辉. 我国农业土壤污染现状及其成因 [J]. 上海农业学报,2008(2):122-126.
- [5] 毛罕平. 试论发展植物工厂工程的必要性 [J]. 江苏农机与农艺,1996(3):7-8.
- [6] 毛罕平. 设施农业的现状与发展 [J]. 农业装备技术,2007(5):4-9.
- [7] Mori Y, Takatsuji M, Yasuoka T. Effects of pulsed white LED light on the growth of lettuce [J]. Journal of Society of High Technology in Agriculture, 2002,14(3):136-140.
- [8] ZuHua Y, Johnson G N, Others. Photosynthetic acclimation of higher plants to growth in fluctuating light environments [J]. Photosynthesis Research, 2000,63(1):97-107.
- [9] Zheng Y, Blom T, Dixon M. Moving lamps increase leaf photosynthetic capacity but not the growth of potted gerbera [J]. Scientia horticultrae, 2006, 107(4):380-385.
- [10] Marissen N, Elings A, Snel J, et al. Energiebesparing mobiele belichting roos [J]. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, nota, 2005,416:16002. (下转第150页)

向成功杏子的准确观测。

参考文献:

- [1] G. E. Rehkugler, J. A. Throop. Apple. sorting with machine vision[J]. Transaction of ASAE, 1985(5):1388-1395.
- [2] O. Kleynen, V. Leemans, M. F. Destain. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples[J]. Food Engin, 2005(1):41-49.
- [3] P. Narayanan, A. M. Lefcourt. Tests of the Ability to Orient Apples using their Inertial Properties[C]//2007 ASABE An-

- nual International Meeting. Minneapolis:ASABE, 2007.
- [4] 梁勤安, 刘向东, 张杰, 等. 杏果自动定向工作部件设计与试验[J]. 现代食品科技, 2011, 27(3):283-286.
- [5] 罗建清, 王春耀, 梁勤安, 等. 杏果输送过程中稳定性的研究与仿真分析[J]. 农机化研究, 2014, 36(12):79-82.
- [6] 贾伯年, 俞朴. 传感器技术[M]. 南京:东南大学出版社, 1999.
- [7] 王春耀, 梁勤安, 闵磊, 等. 水果输送过程中定向机理的分析与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20):95-98.

KMT Dynamic Strain Measurement System Application in Fruit Orientation

Ding Xiangyan, Wang Chunyao, Luo Jianqing, Huang Chunyang

(School of Mechanical Engineering, XinJiang University, Ürümqi 830047, China)

Abstract: The directed crux of the problem for fruit conveying process is to find the principal factors that affect orientation success percentage, and contrast each factor by science combination, find the best combination to improve the orientation success rate of fruit in the actual production process. Using the method of combining orthogonal test and KMT dynamic strain measurement system to determine the relevant factors of orientation. The value of KMT dynamic strain test retaining piece is consistent with calculated analysis of the data. And determining the main factors that influence the orientation of the fruit conveyor are as follows: the width of the entrance channel, the size of the speed of the clamping band, the apricots short diameter size. By orthogonal test, gaining a group of optimum combination of experimental factors: the D is 25mm, the V is $13.2\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$, and the I is from 34mm to 35mm, In the case of this experiment, the apricots of directional success rate is greatly improved. By high-speed camera observation statistics, we found that: fruit directional stability mainly concentrated on the fourth region in the orientation channel. Considering the impact of the gripping piece on the conveyor belt vibration, statistics out of apricot directional stability of the region focused on the fourth area of conveying channel, and therefore to subsequent apricot segmentation of cutter location selection provides the theory support.

Key words: fruits orientation; dynamic strain test; high-speed camera; orthogonal test; calibration test

(上接第145页)

Abstract ID:1003-188X(2015)06-0141-EA

Design and Research of Fluctuation Artificial Light

Shi Zhili, Hu Shengyao, Mao Hanping, Zhou Yabo

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education and Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: This paper studied and designed a fluctuating artificial light for plant factory which mixed -used light-emitting diodes (Light-Emitting Diode, LED) and fluorescent lamps, it's PAR (Photo-synthetically Active Radiation) was up to $550\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Lettuce cultivation experiment was be done in order to research the effect of different light cycles (40/40, 80/40, 120/40) on lettuce. The results showed that the fluctuations light can increased photosynthetic capacity of lettuce; chlorophyll content was higher in lettuce of shorter period in fluctuations light environment; lettuce fresh and dry weight was lower when light cycles was shorter; under fluctuations light lettuce production per unit power was higher than ordinary light, this means fluctuation light can reduce the energy consumption of the plant factory to some extent.

Key words: plant factory; lettuce; light fluctuations; production; energy

植物工厂间歇式人工光源的试验研究

作者: [时志立](#), [胡圣尧](#), [毛罕平](#), [周亚波](#), [Shi Zhili](#), [Hu Shengyao](#), [Mao Hanping](#), [Zhou Yabo](#)
作者单位: [江苏大学 现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 江苏 镇江, 212013](#)
刊名: [农机化研究](#)^{PKU}
英文刊名: [Journal of Agricultural Mechanization Research](#)
年, 卷(期): 2015(6)

引用本文格式: [时志立](#). [胡圣尧](#). [毛罕平](#). [周亚波](#). [Shi Zhili](#). [Hu Shengyao](#). [Mao Hanping](#). [Zhou Yabo](#) [植物工厂间歇式人工光源的试验研究](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2015(6)