



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 107872952 B

(45) 授权公告日 2021.06.15

(21) 申请号 201680020090.8

(22) 申请日 2016.03.31

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107872952 A

(43) 申请公布日 2018.04.03

(30) 优先权数据
15161920.2 2015.03.31 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2017.09.29

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2016/056998 2016.03.31

(87) PCT国际申请的公布数据
W02016/156452 EN 2016.10.06

(73) 专利权人 昕诺飞控股有限公司

地址 荷兰埃因霍温

(72) 发明人 M.P.C.M. 克里恩 G-E. 奥纳

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 陈俊 陈岚

(51) Int.Cl.
A01G 7/04 (2006.01)

审查员 班洁静

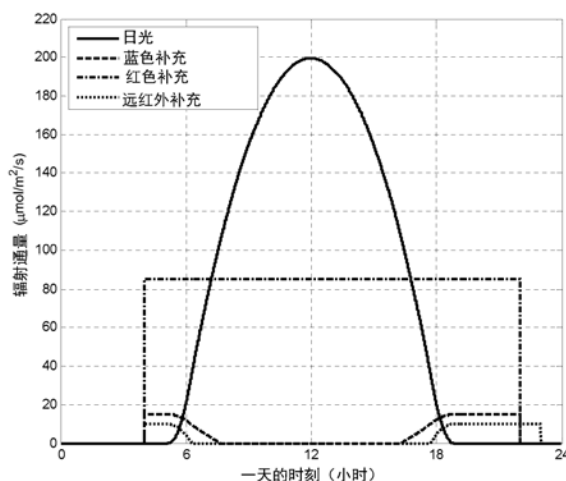
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

照射植物的系统和方法

(57) 摘要

本发明总体上涉及照射植物的系统和方法，特别地涉及向植物提供除自然光之外的补充照明，并且当使用这种补充照明时改善作物产量。本发明非常适合在园艺中，例如在温室中使用。



1. 一种用于在附加光源存在的情况下照射植物的系统,该系统包括:

远红外光源;和

配置成改变该远红外光源的输出的控制器,该远红外光源和附加光源的输出组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物,其中该控制器配置成改变该远红外光源的输出,使得随着该附加光源的输出改变,该光合有效辐射中全部远红外光的分数不小于远红外预定最小值并且不大于远红外预定最大值,以及

其中该远红外预定最大值包括下列中的至少一个:15%,13%或11%。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中该远红外预定最小值是4%。

3. 根据权利要求1所述的系统,其中该远红外预定最小值是6%。

4. 根据权利要求1所述的系统,其中该远红外预定最小值是8%。

5. 根据权利要求1所述的系统,其中该远红外预定最小值是10%。

6. 根据权利要求1所述的系统,进一步包括蓝光源和配置成改变该蓝光源的输出的控制器,该蓝光源、远红外光源和附加光源的输出组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物,其中该控制器进一步配置成改变该蓝光源的输出,使得随着该附加光源的输出改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数不小于蓝色预定最小值。

7. 根据权利要求6所述的系统,其中该控制器进一步配置成改变该蓝光源的输出,使得随着该附加光源的输出改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数不大于蓝色预定最大值。

8. 根据权利要求6所述的系统,其中该蓝色预定最小值是5%。

9. 根据权利要求6所述的系统,其中该蓝色预定最小值是7%。

10. 根据权利要求6所述的系统,其中该蓝色预定最小值是9%。

11. 根据权利要求6所述的系统,其中该蓝色预定最小值是12%。

12. 根据权利要求6所述的系统,其中该蓝色预定最小值是15%。

13. 根据权利要求7所述的系统,其中该蓝色预定最大值是27%。

14. 根据权利要求7所述的系统,其中该蓝色预定最大值是20%。

15. 根据权利要求7所述的系统,其中该蓝色预定最大值是18%。

16. 根据权利要求7所述的系统,其中该蓝色预定最大值是16%。

17. 根据权利要求1所述的系统,进一步包括光传感器,其用于测量该光合有效辐射中全部蓝光的量、该光合有效辐射中全部远红外光的量和/或光合有效辐射的量,

其中该光传感器配置成测量:

落入400nm至500nm范围内的全部蓝光的量,

落入700nm至800nm范围内的全部远红外光的量,和/或

落入400nm至700nm范围内的光合有效辐射的量。

18. 根据权利要求6所述的系统,其中该附加光源包括日光。

19. 根据权利要求18所述的系统,其中该附加光源还包括红光源。

20. 根据权利要求19所述的系统,其中该蓝光源、该远红外光源和/或该红光源各自包括LED灯,其中

该蓝光源的输出具有峰值波长在400nm至500nm的范围中的光谱,

该远红外光源的输出具有峰值波长在700nm至800nm的范围中的光谱,和/或

该红光源具有一输出,该输出具有峰值波长在600nm至700nm的范围中的光谱。

21. 一种在存在附加光的情况下照射植物的方法,包括:

提供远红外光;

将该远红外光和附加光组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物;以及

自动地改变该远红外光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部远红外光的分数不小于远红外预定最小值并且不大于远红外预定最大值,以及

其中该远红外预定最大值包括下列中的至少一个:15%,13%或11%。

22. 根据权利要求21所述的方法,进一步包括:

提供蓝光;

将该蓝光、远红外光和附加光组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物;以及

自动地改变该蓝光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数不小于蓝色预定最小值。

23. 一种与包括蓝光源和红光源的灯具一起使用的控制器,该控制器包括:

第一信号端口,其配置成接收对应于光合有效辐射中全部蓝光的分数的值,和/或对应于该光合有效辐射中全部远红外光的分数的值,其中该蓝光、远红外光和附加光组合以提供该光合有效辐射;

第二信号端口,其配置成控制该蓝光源的输出和/或该远红外光源的输出;以及

计算机可读程序,其在被运行时改变:

(i) 蓝光源的输出,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数不小于蓝色预定最小值,和

(ii) 远红外光源的输出,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部远红外光的分数不小于远红外预定最小值并且不大于远红外预定最大值,以及

其中该远红外预定最大值包括下列中的至少一个:15%,13%或11%。

24. 一种计算机可读存储介质,包括提供于其中的计算机可读程序,该计算机可读程序在根据权利要求1-20中任一项所述的系统中运行时,执行由权利要求21所定义的方法,或者在根据权利要求6-20中任一项所述的系统中运行时,执行由权利要求22所定义的方法。

照射植物的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及照射植物的系统和方法,特别地涉及向植物提供除自然光之外的补充照明,并且当使用这种补充照明时改善作物产量。本发明非常适合在园艺中使用。

背景技术

[0002] 补充照明在园艺中被越来越多地使用以便改善温室中水果和蔬菜的生长,特别是在自然日光自身不足够的季节期间。补充照明允许水果和蔬菜全年生长。

[0003] 例如,在荷兰西红柿的生长涉及在冬季、秋季和春季中的补充照明,因为在这些季节期间的日光典型地是缺乏的。同时,在这些季节期间西红柿的价格是最高的,这不正是补偿用于补充照明的投资成本和能源成本。

[0004] LED(发光二极管)是固态光源。LED相对于其他光源具有许多优点,诸如持久性、长寿命、紧凑性和效率。有用地,LED还提供窄带光谱发射,这是指可以针对特定应用或者作物类型来优化LED照明系统的光谱轮廓。另外,LED提供具有低辐射热的高光输出,以及在照明系统中在设计和放置中的灵活性。最近的进展已经确保LED在数量增长的波长中并且以减少的成本可获得。结果,LED越来越受青睐用于园艺。

[0005] 园艺中的一主要目的是最大化作物产量(就生物量或者水果产量而言),同时保持由照明消耗的能量尽可能低。

[0006] 当使用LED作为光源时,典型地选择光合效率最高的波长。光合作用是植物用于将来自空气的CO₂结合水及光转换成糖类的机制。生物量的增长与所产生的糖类的量成比例。光合作用响应的波长依赖性在图1中示出(此响应曲线也称为“McCree曲线”或者“光合响应曲线”)。该分布在光谱的蓝色和红色区域中略微地有峰值。

[0007] 作为该曲线的近似,在位于400nm和700nm之间的波长区域之内的所有辐射被称作“光合有效辐射(PAR)”,也在图1中示出。PAR可以以每表面面积每秒的光子数目表示,并且称为“光合光子通量密度(PPFD)”。光子的数目通常以μmol表示,其中1mol总计为6.02x10²³个光子。PAR也可以被表示为每表面面积每秒的能量的量,并且该度量称为光强度。光强度和PPFD是可相互转换的。PPFD在本领域中更常使用,并且因此对于本发明的目的来说是优选的度量。

[0008] 图1还示出了在300nm到800nm之间的“日光光子通量光谱”(如在来自美国试验与材料学会的标准AM1.5G,ASTM G173中定义的)。

[0009] 对于植物生长,从400nm至800nm的光谱区域是最重要的。蓝色(B)区域从400nm延伸至500nm,绿色(G)区域从500nm延伸至600nm,红色(R)区域从600nm延伸至700nm,并且远红外(FR)区域从700nm延伸至800nm。

[0010] 日光的PAR光子通量可以被表示为 $F_{PAR}=F_B+F_G+F_R$,其中 $F_B+F_G+F_R$ 可以被用于分别指示蓝光、绿光和红光的通量。对于日光,蓝光、绿光和红光的对应比例是 $F_B:F_G:F_R=0.27:0.35:0.38$ 。 F_{FR} 是远红外光的通量。当相对于 F_{PAR} 的量表示时,比例是 $F_{FR}:F_{PAR}=0.36$ 。

[0011] 由于已知植物在日光中生长良好,本领域中常见方式是使用模拟日光的补充光光

谱。

[0012] 虽然LED相对于其他形式的照明(诸如白炽照明和荧光照明)提供了优点,但是存在改善LED照明系统的效率的需要。电力是越来越昂贵和珍贵的资源。在能量需求是最高时的春季、秋季和冬季月份期间,特别是如此。

[0013] 因此本公开的一目的是改善这种补充照明系统的效率。

发明内容

[0014] 在第一方面中,本公开提供了一种用于在存在附加光源的情况下照射植物的系统,该系统包含:蓝光源;远红外光源;和控制器,其配置成改变该蓝光源和该远红外光源的输出,该蓝光源、远红外光源和附加光源的输出组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物,并且其中该控制器配置成改变(i)该蓝光源的输出,使得随着该附加光源的输出改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数不小于第一预定最小值;和/或(ii)该远红外光源的输出,使得随着该附加光源的输出变化,该光合有效辐射中全部远红外光的分数不小于第二预定最小值。

[0015] 在第二方面中,本公开提供了一种在存在附加光的情况下照射植物的方法,包括:提供蓝光;提供远红外光;将该蓝光、远红外光和附加光组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物;以及改变该蓝光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数维持大于第一预定最小值,和/或改变该远红外光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部远红外光的分数维持大于第二预定最小值。

[0016] 在第三方面中,本公开提供了一种在存在附加光的情况下照射植物的方法,包括:提供蓝光;提供远红外光;将该蓝光、远红外光和附加光组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物;以及(i)自动地改变该蓝光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数不小于第一预定最小值;和/或(ii)自动地改变该远红外光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部远红外光的分数不小于第二预定最小值。

[0017] 在第四方面中,本公开提供了一种计算机可读存储介质,包括设置在其中的计算机可读程序,该计算机可读程序在根据本公开的第一方面的系统中被运行时,执行根据本公开的第二方面的方法。

[0018] 通过考虑到LED效率和调整提供给植物的光以提供最佳的光合和生长响应,本公开改善了在园艺中使用的LED照明系统的能量利用,由此最大化作物产量同时最小化所消耗的能量。

[0019] 本发明由独立权利要求限定。本发明的进一步特征在从属权利要求中限定。

附图说明

[0020] 参考附图,在附图中:

[0021] 图1是示出了“PAR”、“日光光子通量光谱”和“McCree曲线”的曲线图。

[0022] 图2是本发明的一示例照明方案。

[0023] 图3是一曲线图,其示出了当远红外的分数固定时改变蓝色的分数以及当蓝色的分数固定时改变远红外的分数的生长效率。

具体实施方式

[0024] 本公开提供了一种用于在存在附加光源的情况下照射植物的系统,该系统包括:蓝光源;远红外光源;和控制器,其配置成改变该蓝光源的输出和该远红外光源的输出,该蓝光源、远红外光源和附加光源的输出组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物,并且其中该控制器配置成改变(i)该蓝光源的输出,使得随着该附加光源的输出改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数不小于第一预定最小值;和/或(ii)该远红外光源的输出,使得随着该附加光源的输出变化,该光合有效辐射中全部远红外光的分数不小于第二预定最小值。

[0025] 本系统、方法和控制器适合在园艺中使用。该系统、方法和控制器可以被用于在温室中或者在具有日光进入的城市农场中补充自然光。该系统、方法和控制器也可以在没有日光的情况下使用。

[0026] 如本文中所使用的,当诸如“蓝”、“红”和“远红外”的颜色被用来描述光时,其是指具有落入特定范围内的波长的光。在一方面中,“蓝”光是指落入从400nm至500nm范围内的光,“绿”光是指落入从500nm至600nm范围内的光,“红”光是指落入从600nm至700nm范围内的光,并且“远红外”光是指落入从700nm至800nm范围内的光。将理解,每个范围也可以被定义为“通道”,例如,“蓝通道”指示落入从400nm至500nm范围内的光。在一方面中,术语“光合有效辐射”或者PAR是指落入400nm至700nm范围内的光。根据不那么优选的定义,“光合有效辐射”可以是指落入400nm至800nm范围内的光。术语“光合有效辐射”指示提供给植物的所有光(人工的和自然的两者)的总数。

[0027] 如本文中所使用的,术语“光源”是指发射光辐射的光的任何源。该术语可以涵盖用于产生人工光的设备,诸如灯具,其可以包含诸如灯、灯用外壳和任何关联装置、或者该灯本身的特征。另外,该灯可以以如本领域中已知的各种形式提供,该形式包括白炽灯(诸如卤素灯)、LED灯、弧光灯(诸如金属卤素灯),或者气体放电灯(诸如荧光灯)。术语“光源”也可以包括自然光,即太阳光。

[0028] 术语“蓝光源”是指产生蓝光的光源。蓝光源的输出可以具有完全落入400nm至500nm范围内的光谱。可替换地,由该蓝光源产生的光的大于50%、60%、70%、80%或者90%可以落入400nm至500nm的范围内,和/或该蓝光源的输出可以具有峰值波长在400nm至500nm的范围中的光谱。

[0029] 术语“远红外光源”是指产生远红外光的光源。远红外光源的输出可以具有完全落在700nm至800nm范围内的光谱。可替换地,由该远红外光源产生的光的大于50%、60%、70%、80%或者90%可以落入700nm至800nm的范围内,和/或该远红外光源的输出可以具有峰值波长在700nm至800nm的范围中的光谱。

[0030] 术语“红光源”是指产生红光的光源。红光源的输出可以具有完全落在600nm至700nm范围内的光谱。可替换地,由该红光源产生的光的大于50%、60%、70%、80%或者90%可以落入600nm至700nm的范围内,可替换地,该红光源的输出可以具有峰值波长在600nm至700nm的范围中的光谱。

[0031] 虽然在驱动光合作用中红光是最有效的,但是对于最佳生长来说蓝光(在位于400nm到500nm之间的波长区域中的辐射)的某个最小值是期望的,因为蓝光在保持叶的气孔开放以确保CO₂稳定流入到叶中用于光合作用中起重要作用。Hogewoning等人(Journal

of Experimental Botany, Vol 61, pp.3107-3117, 2010)发现CO₂吸收速率(由叶所摄取的CO₂的量作为时间的函数)定量地依赖于提供给植物的PAR中蓝光的分数(直到50%)。尤其在保持叶的气孔开放中,该分数被认为是重要的。

[0032] 发明人已经发现,对于由补充光供应的给定量的PAR(并且因此所消耗能量的量),约15%蓝光的分数提供最大化作物产量的CO₂吸收速率。发明人已经发现,最小蓝光分数是5%—更低的值提供非常低的作物产量(数据未示出)。然而,对于由补充光供应的给定量的PAR(并且因此所消耗能量的量),超过15%的每个连续百分点增加提供作物产量的相应减少的增加。

[0033] 光谱的远红外部分(在位于700nm到800nm之间的波长区域中的辐射)支配植物形态并且因此支配光拦截。不充足量的远红外光引导植物生长,从而导致密实和紧凑的形态。这种形态是不利的,因为许多植物不能够拦截足够的光用于光合作用。因此,远红外光确保植物能够拦截尽可能多的光(例如,通过最小化一个叶遮挡另一个叶的可能性)。发明人已经发现,对于由补充光供应的给定量的PAR(并且因此所消耗能量的量),PAR的约10%的远红外分数最大化作物产量。然而,对于由补充光供给的给定量的PAR(并且因此所消耗能量的量),超过10%的每个连续百分点增加提供了作物产量的相应减少的增加。

[0034] 在日光中,蓝光的分数平均是PAR的大约27%,并且远红外分数是大约36%。然而,日光不一定提供用于光合作用的最佳光谱。模拟日光因此导致相对低效的解决方案。因此,优选不提供高于在位于日光中观察到的平均值(即分别为27%和36%)的蓝光分数和远红外分数。

[0035] 因此为了最佳生长和最大产量,PAR应该含有蓝光和远红外光的某个最小分数。本系统、方法和控制器考虑到这些最小分数。通过确保在提供给植物的光合有效辐射中的蓝光和远红外光的总量高于预定的最小值,本公开确保最佳的生长和产量。

[0036] 如从图1中可以看到,在约550nm至650nm处观察到最大光合作用响应;在蓝光和远红外光通道中的光合作用效率相对较低。将蓝光和远红外光的分数增加到超过确保最优生长和形态所需的最小值是低效的。

[0037] 另外,不同的LED典型地呈现出不同的效率。蓝光和远红外光光子的生成相对昂贵。典型的LED效率在下文中示出。

[0038] 表1:LED功效(包括驱动器损耗)

[0039]	通道	功效(μmol/J)
	蓝(450nm)	1.22
	红(660nm)	1.92
	远红外(740nm)	1.53

[0040] 因此,使用LED照明以生成蓝光和远红外光与生成红光相比是相对能量低效的。本系统、方法和控制器通过最小化使用具有最低效率的LED而考虑到这些LED效率,从而提供一PAR轮廓,该PAR轮廓提供每单位所消耗能量的改善的生物量产量。

[0041] 本系统、方法和控制器的重点是使用补充的或者人工的照明以补充日光,例如,在温室中。因此,附加光源可以包含太阳光。如本文中所使用的,术语“补充的”和“人工的”是同义的。在光被用来补充自然日光的意义上,该光是“补充的”。然而将理解,该系统、方法和

控制器可以在完全没有日光的情况下使用,例如,在这种温室中在日出前和在日落后。

[0042] 将理解,来自日光的辐射全天变化。因此,蓝光源和远红外光源的输出可以在一整天内变化以提供一数量的光合有效辐射,该光合有效辐射具有响应于变化的日光而变化的预定分数的蓝光和远红外光。

[0043] 由于仅需要最小分数的蓝光和远红外光(该分数低于日光中的对应值),并且由于与红光相比,产生蓝光和远红外光通常是更加昂贵的,本系统、方法和控制器通过动态地改变提供给植物的光合有效辐射的光谱(即补充光和日光的总和)使得这些最小分数被提供而提供能量效率的改善。通过最小化人工产生的蓝光和远红外光的量,对于每一数量的由补充照明消耗的能量,更多红光被产生。如先前所指出,红光被植物在光合作用中最有效地利用,这是指每所消耗的能量而产生的增加数量的红光导致每所消耗的能量生物量产量的改善。

[0044] 在提及术语“变化”时使用的术语“动态”可以指变化的步骤全天持续地进行。在可替换的方面中,变化的步骤可以在一整天以离散间隔进行,例如,在整个日循环中一次、二次、或者更多次进行,或者以一天的定义间隔(例如,每30秒,或者1、5、10、15、20、30或者60分钟)进行。将理解,以离散间隔变化会是有利的,例如,当天气在一整天中在多云和晴天之间交替变化时,通过不使用户(诸如温室工人)受到补充照明的输出的不断变化,由此改善用户舒适度。变化的步骤由特别适配成如此实施的控制器实施。

[0045] 附加光源可以包含红光源。该红光源可能是对日光的补充,但是也可以在没有日光的情况下使用。因此,在一方面中,附加光源包含日光和红光源。如先前所指出,在光合作用期间,红光特别好地被植物利用。另外,与蓝色和远红外LED相比,红色LED典型地呈现出更高的效率(参见表1)。因此,无论何时使用补充照明,补充的红光源可以处于全功率,或者换言之,红光源的输出可以不改变。假如在提供给植物的光合有效辐射中全部蓝光和全部远红外光的分数超过他们的各自最小值,提供充足红光给植物是有利的。然而,如果期望,可以使用小于全功率。在一方面中,提供给植物的红光的量可以响应于日光的量而改变。在提供给植物的日光的量低于(或者预计将低于)待提供给植物的PAR的优选量的情况下,可以增加红光的量以补偿较低量的日光。

[0046] 蓝光源和远红外光源的输出的改变可以如下进行。特别地,控制器可以配置成,基于与光合有效辐射中的蓝光的量和/或光合有效辐射中的远红外光的量对应的值,确定光合有效辐射中全部蓝光的分数。

[0047] 在优选方面中,光的“量”通过确定光子通量(单位为每单位表面面积每单位时间的光子数目)来测量。该“量”也可以通过确定光强度(单位为每单位表面面积每单位时间的能量的量)来测量,不过这是不那么优选的。如本领域中已知的,这两种类型的测量是可互换的。

[0048] 术语“光合有效辐射中全部蓝光的分数”可以是指蓝光(即落入400nm至500nm范围内)的总光子通量,其被表示为光合有效辐射的总光子通量的比例。相似地,术语“光合有效辐射中全部远红外光的分数”可以是指远红外光(即落入700nm至800nm范围内)的总光子通量,其被表示为光合有效辐射的总光子通量的比例。光合有效辐射的总光子通量优选地在400nm至700nm的范围中测量。

[0049] 首先,可以确定提供给植物的光合有效辐射的量以及其蓝光和远红外光的分数。

此确定可以通过测量辐射来进行。测量可以通过本领域中已知的任何手段(例如,利用光传感器,诸如分光辐射度计)来进行。可替换地,光合有效辐射的量可以基于已知的和估计的变量来确定。例如,当仅存在人工光并且没有日光时,可以仅基于每种光的已知输出来确定使用蓝光、红光和远红外光提供给植物的光合有效辐射的量。另外,日光的量(在存在的情况下)可以基于诸如气象数据的数据来估计。然而,优选直接测量光的“量”。

[0050] 在一方面中,可以提供至少三个分离的光传感器,每个独自地配置成分别测量在提供给植物的PAR中的蓝光、红光和远红外光辐射。可替换地,光传感器可以配置成测量蓝光、红光和远红外光辐射的各自水平。可替换地,可以提供光传感器以单独测量附加光的量,其中该附加光是日光。由于日光的光谱是已知的并且在一些程度上是恒定的(例如,参见图1中的日光光谱),因此可以估计日光中蓝光、红光和远红外光的对应量。还可以估计由补充光提供的蓝光、红光和远红外光的对应量(作为提供给该补充光的能量的函数)。因此,通过了解日光光谱、测量日光的光水平的光传感器以及估计由补充光提供的蓝光、红光和远红外光的对应量,有可能导出提供给植物的PAR中蓝光和远红外光的分数。

[0051] 第二,计算作为总PAR的比例的蓝光和远红外光的分数。可替换地,作为落入400nm至800nm范围的光的比例的蓝光和远红外光的分数。计算由本领域中已知手段进行。控制器可以配置成计算该分数。

[0052] 第三,改变蓝光源和远红外光源的输出,使得提供给植物的光合有效辐射的蓝光分数和远红外光分数分别大于用于蓝光和远红外光的最小分数。光源输出的变化由控制器以本领域中已知的方式进行。例如,该控制器可以包含可变开关,其调适成例如通过改变供应给各个光源的电压和/或电流而适当地使光源变暗或变亮。

[0053] LED灯优选地被用作用于所公开系统、方法和控制器的光源。因此,该蓝光源、远红外光源和/或红光源可以各自作为LED灯被提供。然而将理解,诸如荧光灯的非LED灯也可以与所公开系统、方法和控制器一起使用,因为也将从每所消耗能量的量的蓝光和远红外光最小化以及红光最大化中看到从这种系统获得的生物量产量的改善。

[0054] 本公开提供了一种考虑到这些因素的最优化补充照明的系统。补充光的蓝光源和/或远红外光源的输出被动态地变化,使得在日循环期间,光合有效辐射(即补充光和日光,或者当没有日光的情况下单独该补充光)包含均大于所定义最小值的蓝光和远红外光的分数。通过确保该分数小于所定义最大值,可以进一步优化该补充照明。

[0055] 在补充照明开启的当天的任何时间,蓝光源和/或远红外光源的输出被改变,使得光合有效辐射中全部蓝光的分数超过可以称为 f_B 的某个值,并且光合有效辐射中全部远红外光的分数超过可以称为 f_{FR} 的某个值。

[0056] 可以以光子通量为单位度量的蓝光源和/或远红外光源的输出可以分别定义为 F_B^{LED} 和 F_{FR}^{LED} 。

[0057] 在一方面中,当“光合有效辐射”是指由PAR定义的通道,即落入400nm至700nm范围的光时,该光合有效辐射的蓝色分数和远红外分数可以分别定义为 $F_B^{Total}/F_{PAR}^{Total}$ 和 $F_{FR}^{Total}/F_{PAR}^{Total}$ 。

[0058] 根据本公开的此方面, F_B^{LED} 可以被动态地改变,使得 $f_B < F_B^{Total}/F_{PAR}^{Total} < 27\%$ 。相似地, F_{FR}^{LED} 可以被动态地改变,使得 $f_{FR} < F_{FR}^{Total}/F_{PAR}^{Total} < 37\%$ 。

[0059] 因此,蓝光源和远红外光源的输出分别作为光合有效辐射中全部蓝光和全部远红

外光的分数的函数而被改变。

[0060] 在光合有效辐射中提供给植物的全部蓝光和全部远红外光的量可以被最小化。这可以通过改变蓝光源和/或远红外光源的输出来实现,使得在提供给植物的光合有效辐射中全部蓝光和/或全部远红外光的分数分别尽可能地接近最小值 f_B 和 f_{FR} 。

[0061] 另外,可以设定用于光合有效辐射中全部蓝光和/或全部远红外光的分数的最大值。光合有效辐射中全部蓝光的分数可以小于第一最大值,和/或光合有效辐射中全部远红外光的分数可以小于第二最大值。

[0062] 光合有效辐射中全部蓝光的分数大于最小值 f_B ,该最小值可以为5%、6%、7%、8%、9%、10%、11%、12%、13%、14%、15%、16%、17%、18%、19%、20%、21%、22%、23%、24%或者25%。该最小值的优选值是5%、7%、9%、12%或者15%。最优选值是15%。光合有效辐射中全部蓝光的分数可以小于最大值。该最大值可以是27%,其对应于在太阳光中平均观察到的蓝光的分数。如果期望,提供高于27%的分数是可能的。其他最大分数是可能的,诸如16%、18%、19%、20%、21%或者22%。该最大值的优选值是20%、18%或者16%。可替换地,该最大值可以对应于比该最小值 f_B 高0.1%、0.2%、0.3%、0.5%、1%、2%、3%、4%或者5%的点。例如,当 f_B 是15%时,那么比 f_B 高3%的点是18%。

[0063] 当光合有效辐射中全部蓝光的分数被改变为尽可能接近最小值 f_B 以便最小能量消耗时,所公开系统、方法和控制器的优点被最好地实现。

[0064] 光合有效辐射中全部远红外光的分数大于最小值 f_{FR} ,该最小值可以为4%、5%、6%、7%、8%、9%、10%、11%、12%、13%、14%、15%、16%、17%、18%、19%或者20%。该最小值的优选值是4%、6%、8%或者10%。最优选值是10%。光合有效辐射中全部远红外光的分数可以小于最大值。该最大值可以是36%,其对应于在太阳光中平均观察到的远红外光的分数。如果期望,提供高于36%的分数是可能的。其他最大值分数是可能的,诸如13%、14%、15%、16%或者17%。该最大值的优选值是15%、13%或者11%。可替换地,该最大值可以对应于比该最小值 f_{FR} 高0.1%、0.2%、0.3%、0.5%、1%、2%、3%、4%或者5%的点。例如,当 f_{FR} 是10%并且该最大值是比 f_{FR} 高3%的点时,那么该最大值是13%。

[0065] 当全部远红外光的分数被改变为尽可能接近最小值 f_{FR} 以便最小化能量消耗时,所公开系统、方法和控制器的优点被最好地实现。

[0066] 当光合有效辐射的分别为15%和10%的总蓝光和总远红外光的最小值被一起使用时,所公开系统、方法和控制器的优点被最好地实现。然而,全部蓝光和远红外光的最小值的其他值是可能的,诸如,13% f_B 和8% f_{FR} 、14% f_B 和9% f_{FR} 、16% f_B 和11% f_{FR} 、17% f_B 和12% f_{FR} 以及18% f_B 和13% f_{FR} 。

[0067] 另外,当全部蓝光分数和远红外光分数二者维持尽可能接近 f_B 和 f_{FR} (其最小化能量消耗)时,所公开系统、方法和控制器的优点被最好地实现。例如,当分别使用蓝色分数和远红外分数的下述最大值对时可以实现该优点:16%和11%、17%和12%、18%和13%、19%和14%、以及20%和15%。

[0068] 在一方面中,光合有效辐射中全部蓝光的分数可以是第一常数。光合有效辐射中全部远红外光的分数可以是第二常数。控制器配置成改变蓝光源和/或红外光源的输出,当控制器持续改变光的相应输出时尤其很好地适合于提供光合有效辐射中蓝光和/或红外光的恒定分数。通过确保相应的分数不波动(并且特别地,通过不增加高于必须分数),能量

的使用被最小化。然而,将理解,在实践中,这种值可能表现出小的波动,其诸如由光传感器和控制机构中的不准确性、噪音、系统延迟等引起。这种小的波动(诸如在恒定值内0.1%、0.2%、0.3%、0.5%、1%或者1.5%点)仍然提供所公开系统、方法和控制器的优点。

[0069] 以这种方式,本公开允许最优生长与能量最小使用的组合。

[0070] 将理解,当存在足够日光使得提供给植物的光合有效辐射包含大于最小值 f_B 的蓝光分数和/或大于最小值 f_{FR} 的红外光分数时,可能不存在使用人工光线提供任何补充蓝光或者远红外光的需求。如果是这种情况,蓝光和远红外光可以被切断,直到蓝光和远红外光的分数跌落低于 f_B 和 f_{FR} 。

[0071] 在再一方面中,本公开提供了一种在存在附加光的情况下照射植物的方法,包括:提供蓝光;提供远红外光;将该蓝光、远红外光和附加光组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物;以及改变该蓝光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数不小于第一预定最小值,和/或改变该远红外光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部远红外光的分数不小于第二预定最小值。

[0072] 在再一方面中,本公开提供了一种在存在附加光的情况下照射植物的方法,包括:提供蓝光;提供远红外光;将该蓝光、远红外光和附加光组合以提供一数量的光合有效辐射从而照射该植物;以及(i)自动地改变该蓝光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部蓝光的分数不小于第一预定最小值;和/或(ii)自动地改变该远红外光,使得随着该附加光改变,该光合有效辐射中全部远红外光的分数不小于第二预定最小值。

[0073] 术语“自动地”可能是指改变的步骤不是由人进行的。例如,机械或电气设备可以配置成独立于人类控制来执行该步骤。当该设备被设置或者维护时,这种设备可能需要一些人类输入,但是在其他方面能够在没有人类输入的情况下工作。这种机械或电气设备包括控制器,诸如本公开的控制装置。

[0074] 在再一方面中,光合有效辐射中全部蓝光的分数可以是第一常数,该第一常数不小于第一预定最小值,或者不小于第一预定最小值且不大于比第一预定最小值高1%的点;和/或光合有效辐射中全部远红外光的分数可以是第二常数,该第二常数不小于第二预定最小值,或者不小于第二预定最小值且不大于比第二预定最小值高1%的点。

[0075] 将理解,上文中描述的系统特别良好地适用于在存在附加光的情况下照射植物的方法中。因此,该系统的所有方面可以被并入这种方法中。

[0076] 在再一方面中,本公开提供了一种用于与包括蓝光源和远红外光源的灯具一起使用的控制器,该控制器包括:第一信号端口,其配置成接收对应于光合有效辐射中全部蓝光的分数的值,和/或对应于光合有效辐射中全部远红外光的分数的值,其中该蓝光、远红外光和附加光组合以提供光合有效辐射;第二信号端口,其配置成控制该蓝光源的输出和/或该远红外光源的输出;以及计算机可读程序,该计算机可读程序在被运行时改变:(i)蓝光源的输出,使得随着该附加光改变,光合有效辐射中全部蓝光的分数不小于第一预定最小值,和/或(ii)远红外光源的输出,使得随着该附加光改变,光合有效辐射中全部远红外光的分数不小于第二预定最小值。

[0077] 该控制器可以与包含单独可调光的蓝光和远红外光的任何灯具系统组合。例如,与所公开系统、方法和控制器一起使用的特别有用的灯具系统是来自飞利浦的用于园艺生长的、具有单独可调光通道的3通道LED灯具,其称作“飞利浦绿色能源研究模块(Philips

GreenPower research module)”(包括单独可控的蓝色、红色和远红外通道)。

[0078] 在另一方面中,本公开提供了一种计算机可读存储介质,其包括提供于其中的计算机可读程序,该计算机可读程序当在根据本公开的系统中被执行时执行依照本公开的方法。

[0079] 通过研究附图、公开内容以及所附的权利要求,本领域技术人员在实践所要求保护的发明时可以理解和实现对所公开实施方式的其他变化。在权利要求书中,词语“包括”不排除其他要素或步骤,并且不定冠词“一(a或an)”不排除多个。单个处理器或者其他单元可以实现权利要求中所列举的若干项目的功能。相互不同的从属权利要求中叙述某些措施的纯粹事实不表示这些措施的组合不能够被有利地使用。计算机程序可以存储/分布于合适的介质,诸如与其他硬件一起提供或者作为其他硬件的一部分提供的光学存储介质或固态介质,但是也可以以其他形式分布,诸如经由互联网或者其他有线或者无线电信系统。权利要求中的任何附图标记不应该被解释为限制范围。

[0080] 本发明可以通过以下非限制性示例的方式来理解。

[0081] 示例

[0082] 下述示例是基于荷兰晴朗冬日的典型温室。日出和日落分别为大约上午6点和下午6点。

[0083] 补充照明设备能够提供最大水平为 $15\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 的蓝光、最大水平为 $85\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 的红光和最大水平为 $10\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 的远红外光。蓝色和远红外通道是可调光的。

[0084] 在该典型一天期间,用于提供给植物的每个颜色通道的补充照明如图2中所示。补充照明在上午4点被接通并且在下午10点被再次切断(除了该远红外通道之外,其在上午11点被关闭)。代替突然切断该照明,通过在一天结束时单独提供额外1小时的远红外光而逐渐地来关闭该照明。

[0085] 基于全部PAR, f_B 和 f_{FR} 的最小分数分别是15%和10%。该设备设置成改变该蓝光和远红外光的输出以将该蓝色和远红外的分数分别最小化至15%和10%。

[0086] 对于整个光周期,红色通道全功率接通,以确保在该天期间光合有效辐射满足植物的需求。当不存在日光分量时(即从上午4点至约上午6点和从约下午6点时至下午10点),蓝色和远红外通道全功率接通,由此满足 f_B 和 f_{FR} 的最小值。

[0087] 一旦太阳升起并且日光开始有助于光合有效辐射,该蓝色和远红外通道调暗以节省电力,但总是满足针对 f_B 和 f_{FR} 的限制条件。从大约上午7或者8点,日光提供足够的蓝光和远红外光以满足针对 f_B 和 f_{FR} 的最小条件。因此不再需要提供补充的蓝光和远红外光,并且因此该蓝色和远红外通道切断。

[0088] 在该天结束时,此时来自日光的蓝色和远红外贡献减少并且人工照明的蓝色和远红外通道补偿以确保针对 f_B 和 f_{FR} 的条件,相反过程发生。

[0089] 关于图3中描绘的实验结果,再次考虑用于温室补充照明的典型情况,该温室补充照明基于由具有如在表1中所列出的波长和功效的LED所提供的蓝色、红色和远红外颜色通道。为了演示与红光相比蓝光和远红外光对于生长相对低效的目标,发明人已经量化了针对两个场景的预期生长效率。该结果在图3中示出。该生长效率被表示为由该补充照明消耗的每kWh能量所产生的新鲜生物物质的量。

[0090] 在一个场景中(实线),蓝光分数 f_B 被改变,而远红外分数 f_{FR} 保持恒定在10%。在该

情况中,蓝色分数的变化暗示红色分数 f_R 的相等但是相反的变化,以确保蓝色分数、红色分数和远红外分数的总和等于100%。在第二场景中(虚线),远红外分数被改变,而蓝色分数保持恒定在15%。远红外分数的变化暗示红色分数的相等但是相反的变化,以确保蓝色分数、红色分数和远红外分数的总和等于100%。这两个场景都演示了当增加蓝光的分数或者远红外光的分数时,生长效率受到负面影响(即减少)。针对此的主要原因是(i)根据McCree曲线,与蓝光和远红外光相比,红光对光合作用更有效(参见图1);并且(ii)根据表1,发射蓝光或者远红外光的LED的功效小于发射红光的LED的功效。

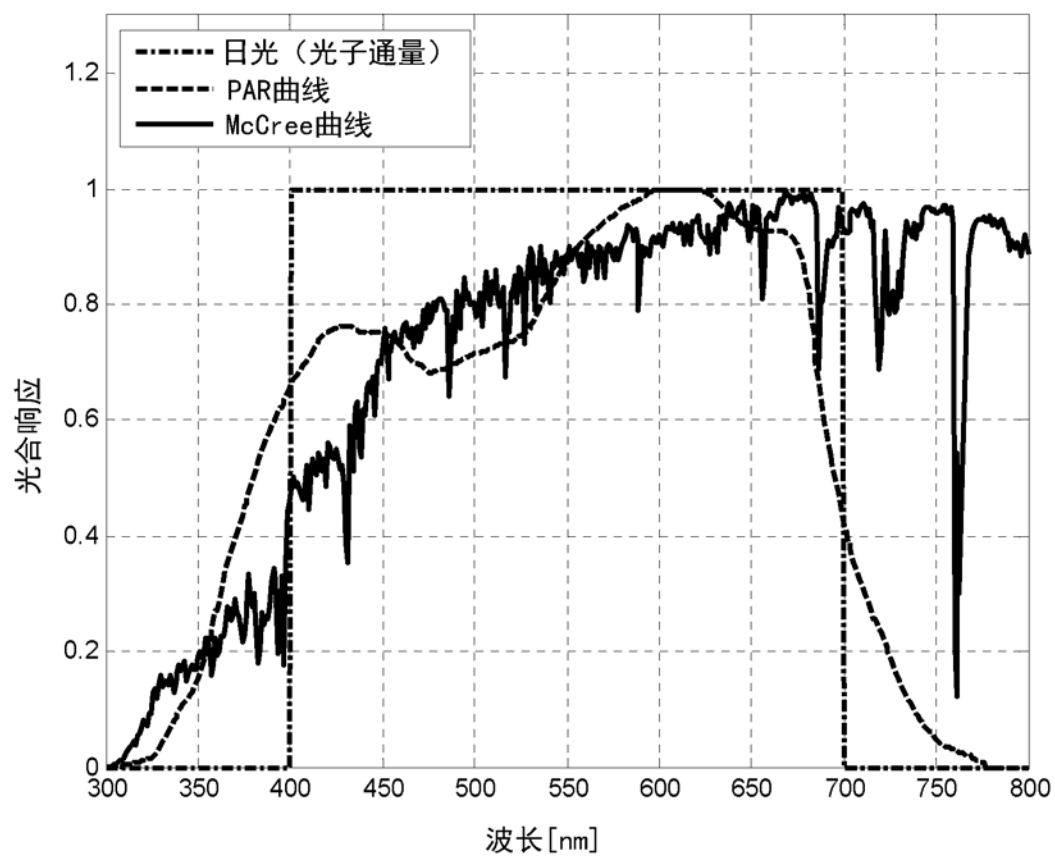


图 1

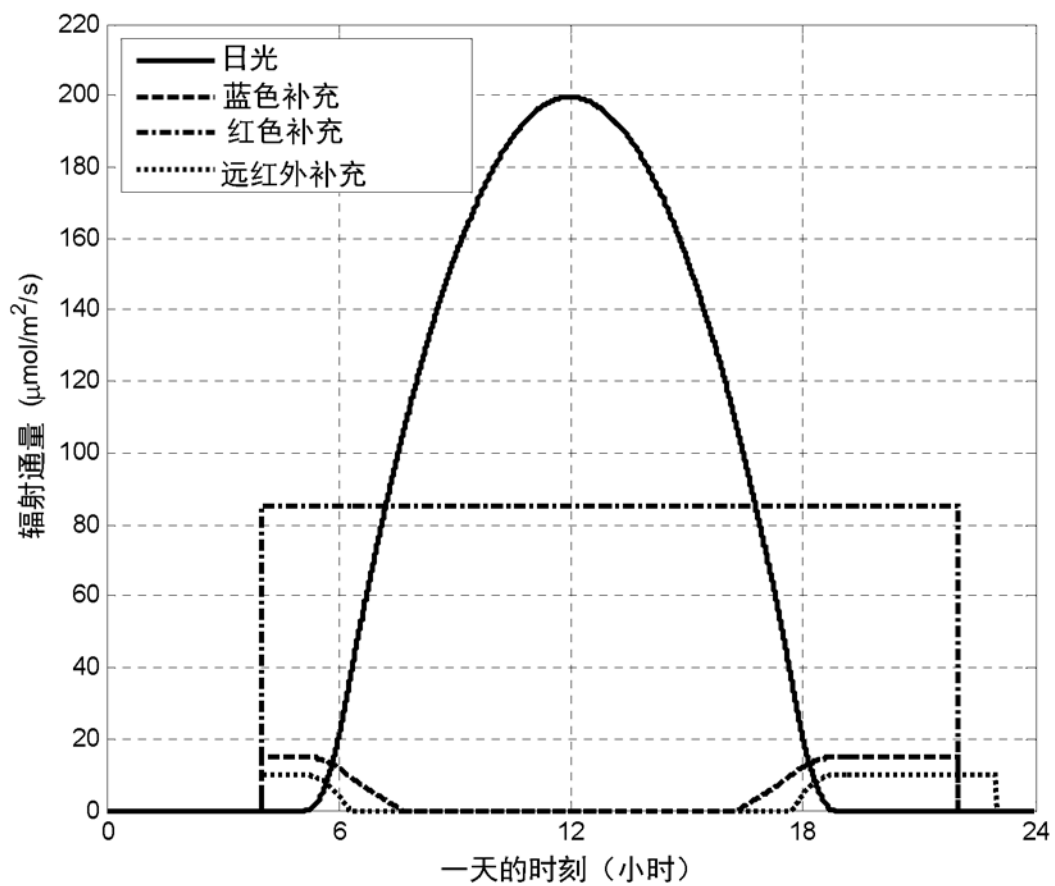


图 2

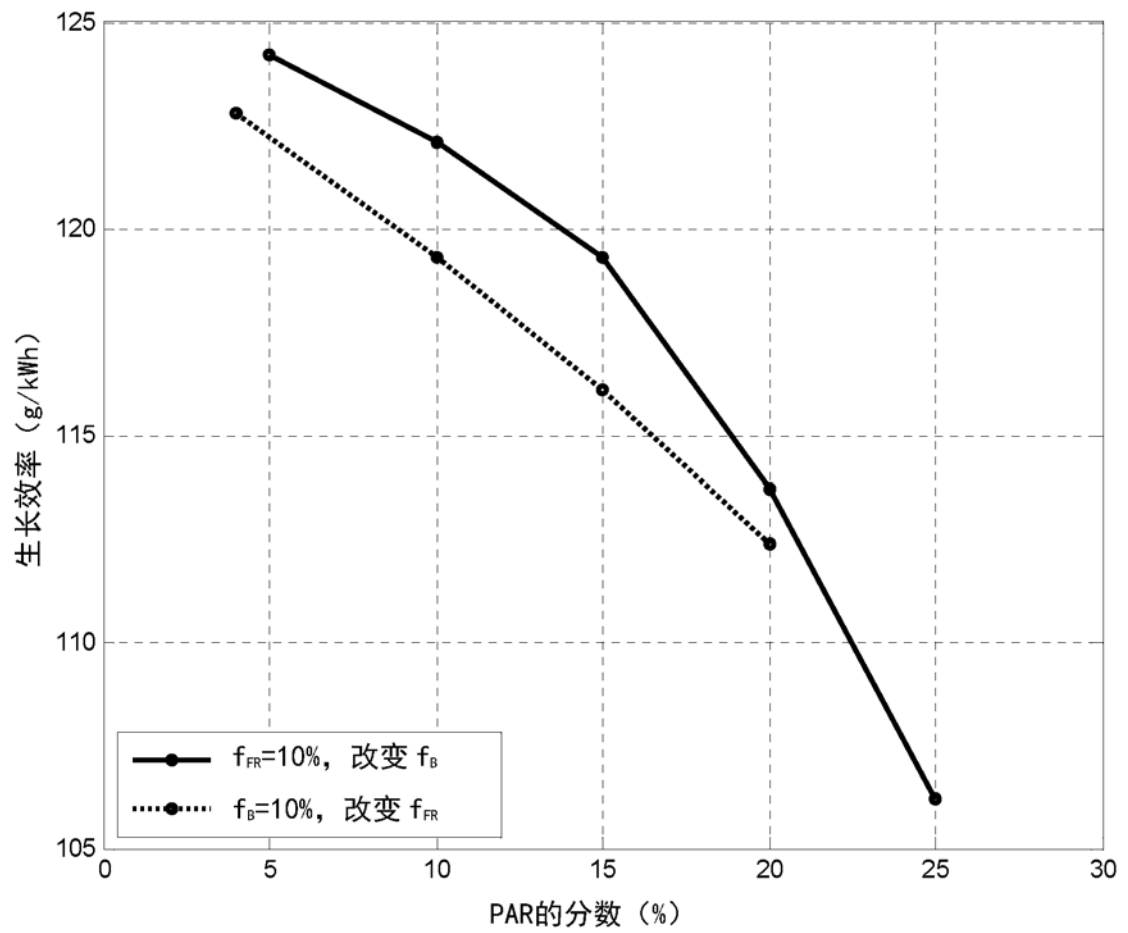


图 3