

m s K Cd  
kg mol A



# 营养补光成本分析

谊文补光理论 · 2014年

上海芯智侬实业有限公司

张补光

leozhang@agrismart.cn

13764318908

www.agrismart.cn

2014年8月25日

# 温室企业补光的原因

专业农业企业在温室生产过程中，会充分利用太阳光，在以下几种情况下使用人工光：

1. 日照不足，用延长种植周期增加光总量，效益比采用人工光差。
2. 每年阶段性、周期性日照不足，不能满足周年出货需要。
3. 自然气候灾害频繁，非正常连续阴天称之为“光灾”。
4. 当保温需要优先处理时，因为保温造成光照不足，需要补光。

地下种植、组培和多层种植采用全人工光方式，而温室生产以太阳光为主，本文针对温室生产日照和人工光混合模式，但方法也适用于全人工光生产系统。



# 方法概要

PPF是主流植物光合光计量方法之一。

光总量方法是种植技术中常见的方法之一。

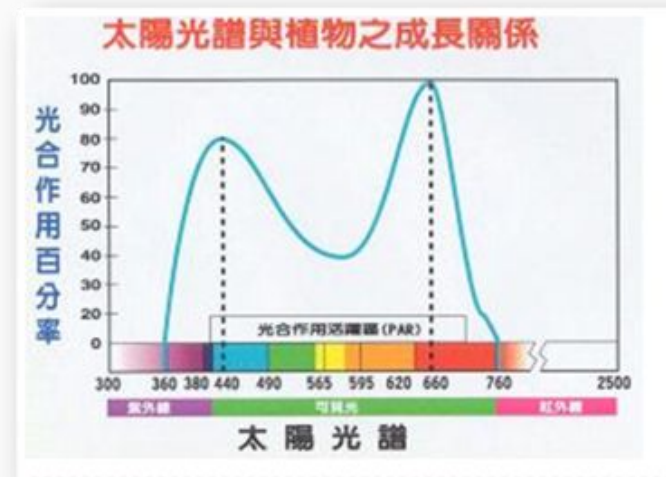
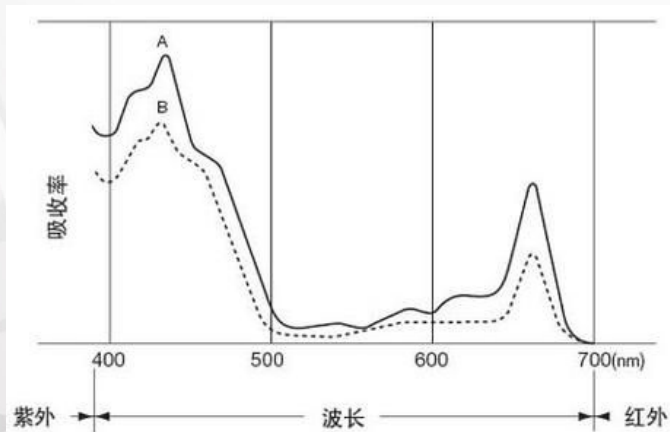
每只灯都可以用PPF的方法描述其发光能力。

太阳提供的、在植物冠部形成的PPF可以通过PAR表进行测量。



# 光总量计算方法

1. 明确目标植物所需的平均每天每平方米的光总量
2. 测量目标植物所在环境太阳所能提供的、生长周期内的平均每天每平方米光总量。
3. 二者相减，得出每天每平方米的补光量。
4. 选择最佳光源，“最佳”指的是光的成本和光质相对最佳，而不是单纯的光质最佳。
5. 计算不同补光系统的一次投入成本（每平方米价格），和运行成本（每平方米每小时价格），维护成本与折旧（每平方米每小时价格），最终算出每平方米每个种植季节的成本。

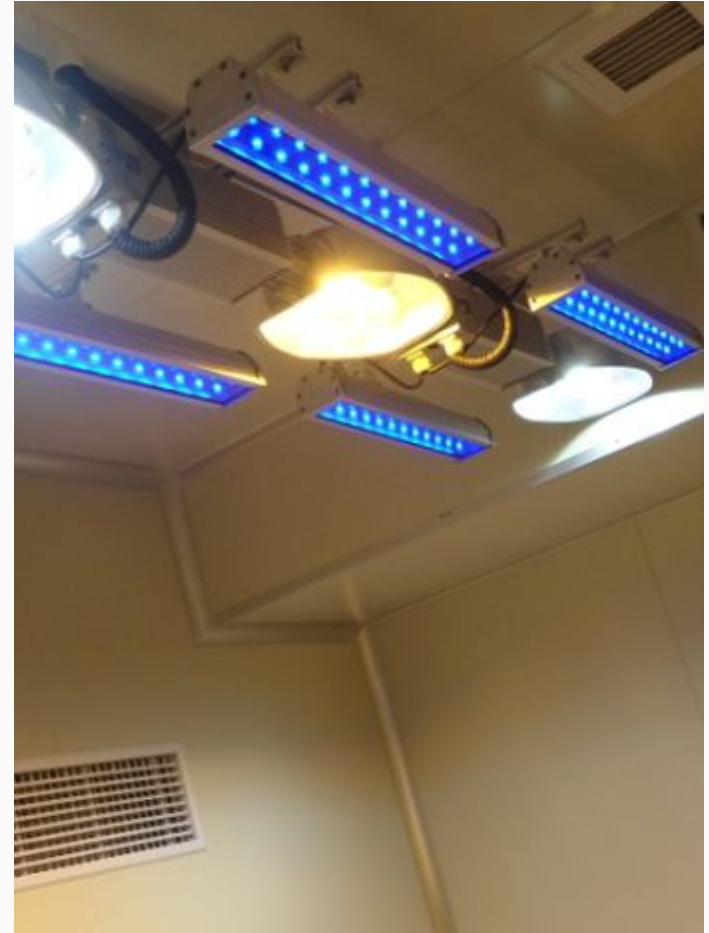




## 常规光总量参数

原产于热带雨林的植物，每天可能需要的光总量为 $6\sim 10\text{mol}/\text{m}^2\text{d}$ ，而喜光植物可能在 $14\text{mol}/\text{m}^2\text{d}$ 达到光合效率最大，假设光照均匀的在10小时/d均匀分布。

日照虽然可能很强，但超过某照度的部分，是效率低下，甚至是有害的，需要遮光处理。计算日照有效光总量的方法不是简单积分，而是要做“削顶”后再对超过补偿点的区域进行积分。

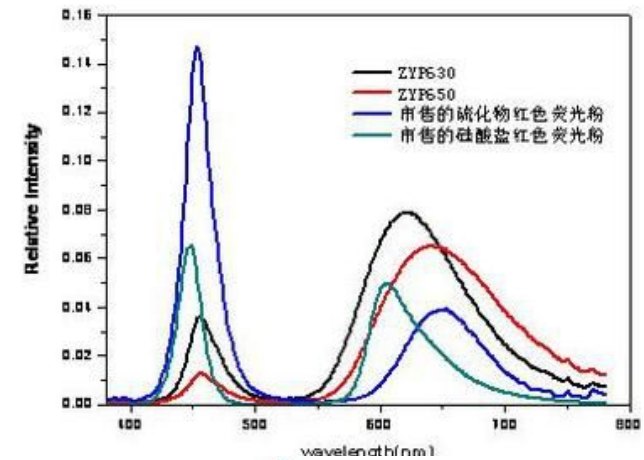
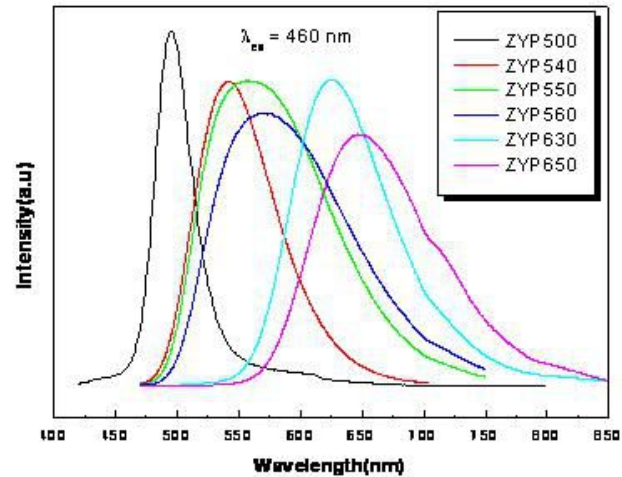


# 光质的问题

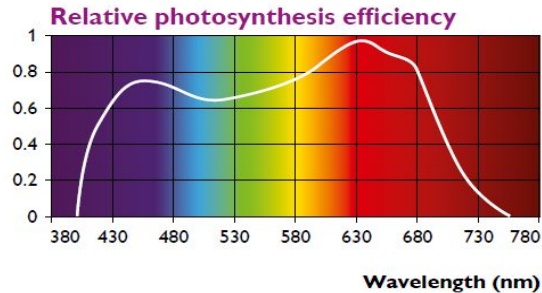
无论太阳光，还是人工光源，光谱都不是很理想的。

人们在努力寻找传说中的“理想”的、“归一”化的光谱，以达到光源的电光转换效率最好。

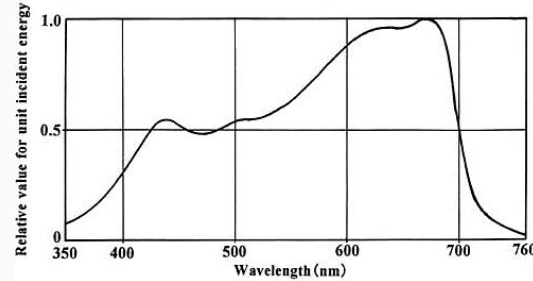
但很遗憾，似乎每种植物所需的光谱不同，起照点不同，饱和点不同，光合效率不同，光合效率最高点也不同，尤其植物生理受到多参数影响，“静态最佳”工作点很难找，即使找到了，也只能适合“全参数受控”的农业设施。



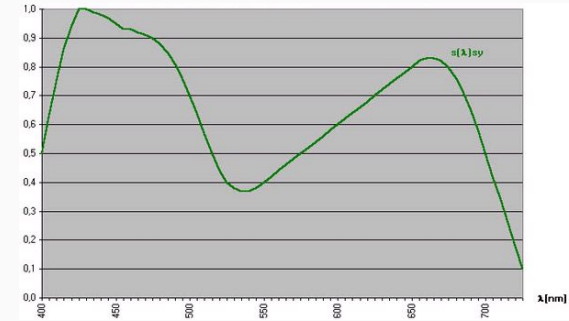
# 综合成本优先，不要过分纠结于光质



McCree/Elgersma 1972年发表的加权函数



India/McCree 1998年发表的加权函数



德国工业标准DIN5031 2000年发布的加权函数

谁知道哪个光谱曲线更适合你的目标作物？！

## 开始计算---前提条件

假定的前提：

用户知道目标作物所需光总量，以及日照提供的光总量。  
需要补光量为3摩尔每平方米每天。  
考虑到光衰和落光效率，灯发出的光85%落到目标表面。  
落光匀度为100%。

每天补光时间为8小时，每年补光300天。

安装人工和原材料成本，钠灯和金卤灯为灯具成本的15%，  
LED为10%。

电感钠灯的维护成本为灯具价格的5%，其它为2%。

钠灯5年更换一次光源；

按照10年折旧，计算设备投入成本。

电费价格为0.65元人民币。

煤炭价格为1000元一吨。

考察的灯具以国际主流产品为主，国内价格以国际价格的  
80%为参考。





# 灯具参数

补光灯种类		补光灯品牌	整灯功率 (w)	发光能力 (umol/s)	发光效率 (umol/J)	电光转换效率 (%)	国内参考价格 (元)
钠灯	电感1000W	Sunlight Supply	1067	1090	1.02	21.0	1320
	电感1000W	PARsource	1004	1155	1.15	23.7	1680
	电子1000W	PARsource	1024	1328	1.30	26.7	1824
LED	红蓝	Lighting Science Group	391	626	1.60	31.1	5760
	红白	Lighting Science Group	397	599	1.51	29.1	5760
	红蓝	Lumigro	317	266	0.84	16.7	5760
	红白	Illumitex	281	384	1.37	26.3	5760
陶瓷金卤灯	315W 3100K	Cycloptics	337	483	1.44	30	3360
	315W 4200K	Cycloptics	340	456	1.34	28.7	3360

数据来源: Supplemental greenhouse lighting: Return on Investment for LED and HPS fixtures  
 Jacob A. Nelson and Bruce Bugbee  
 Crop Physiology Laboratory  
 Utah State University  
 Updated July 2013 <http://cpl.usu.edu/ledandhps>



# 光强的计算

$3\text{mol/m}^2\text{d}$  (8小时)  
 $=3000000\text{umol}/8\text{小时}/60\text{分钟}/60\text{秒}$   
 $=104.2\text{umol}/\text{秒}$

根据所需照度，计算一只灯具能照多少平方米。



# 设备投入成本分析

补光灯种类		补光灯品牌	价格 (元)	一只灯照的面 积 (m <sup>2</sup> )	灯具成本 (元/m <sup>2</sup> / 年) (10年折旧)	材料和安装成 本 (元/m <sup>2</sup> /年 ) (10年折旧)	设备折旧费 (元/m <sup>2</sup> / 年) (10年折旧)
钠灯	电感1000W	Sunlight Supply	1320	8.89	14.85	0.22	15.07
	电感1000W	PARsource	1680	9.42	17.83	0.27	18.10
	电子1000W	PARsource	1824	10.83	16.84	0.25	17.09
LED	红蓝	Lighting Science Group	5760	5.11	112.80	1.69	114.49
	红白	Lighting Science Group	5760	4.89	117.88	1.77	119.65
	红蓝	Lumigro	5760	2.17	265.45	3.98	269.44
	红白	Illumitex	5760	3.13	183.88	2.76	186.64
陶瓷金卤 灯	315W3100K	Cycloptics	3360	3.94	85.28	1.28	86.56
	315W 4200K	Cycloptics	3360	3.72	90.33	1.35	91.68

## 运行维护费用分析--电费

补光灯种类		补光灯品牌	整灯功率 (w)	一只灯照的面积 (m <sup>2</sup> )	功率 (瓦/m <sup>2</sup> )	每天耗电 (度/m <sup>2</sup> )	每年耗电 (度/m <sup>2</sup> )	每年电费 (元)
钠灯	电感1000W	Sunlight Supply	1067	8.89	120	0.96	288.00	187.20
	电感1000W	PARsource	1004	9.42	107	0.85	255.75	166.24
	电子1000W	PARsource	1024	10.83	95	0.76	226.86	147.46
LED	红蓝	Lighting Science Group	391	5.11	77	0.61	183.76	119.45
	红白	Lighting Science Group	397	4.89	81	0.65	195.00	126.75
	红蓝	Lumigro	317	2.17	146	1.17	350.62	227.90
	红白	Illumitex	281	3.13	90	0.72	215.30	139.94
陶瓷金卤灯	315W3100K	Cycloptics	337	3.94	86	0.68	205.28	133.43
	315W 4200K	Cycloptics	340	3.72	91	0.73	219.37	142.59



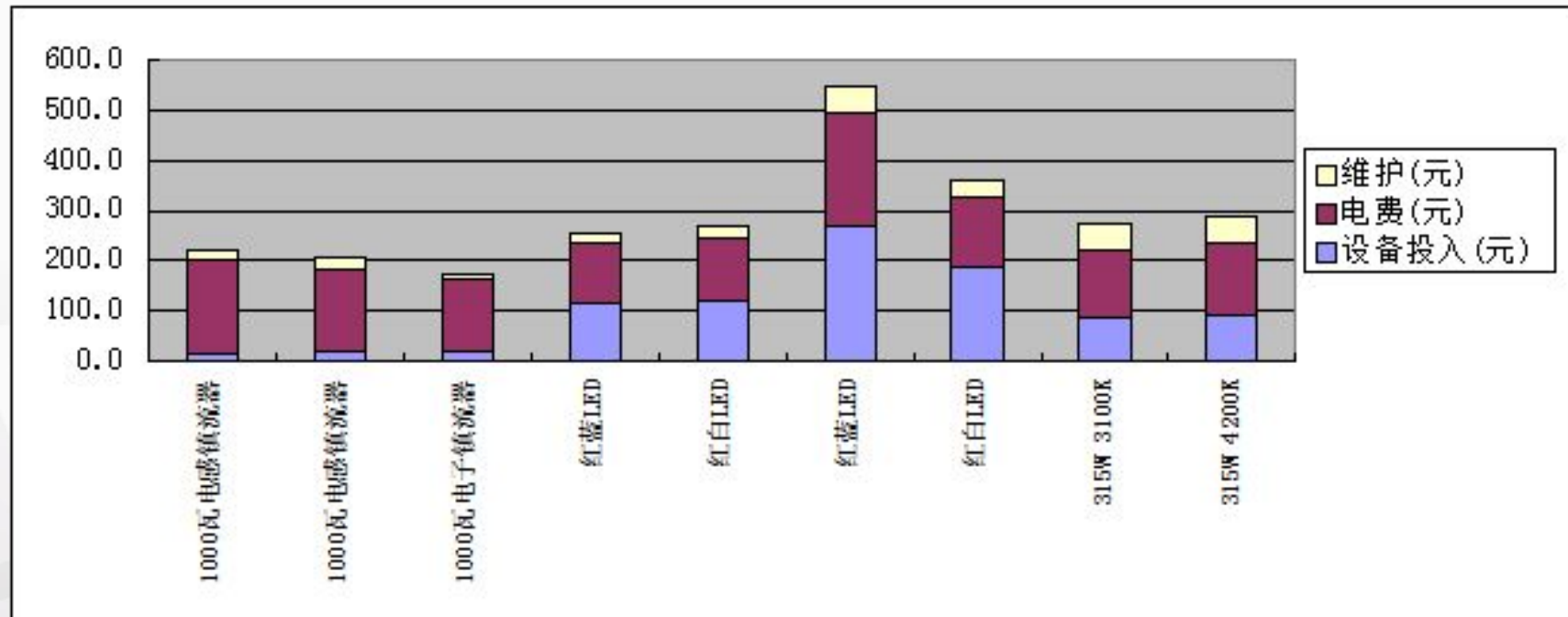
## 运行维护费用分析--维护费（含光源更换）

补光灯种类		补光灯品牌	价格 (元)	一只灯照的 面积 (m <sup>2</sup> )	每平方米价 格 (元)	年维护费 (元)	光源单价 (元)	光源折合每年 每平方米费用 (元/m <sup>2</sup> /年)	总维护费用 (元/m <sup>2</sup> /年)
钠灯	电感1000W	Sunlight Supply	1320	8.89	148	7.42	350.00	13.12	20.54
	电感1000W	PARsource	1680	9.42	178	8.92	350.00	12.38	21.30
	电子1000W	PARsource	1824	10.83	168	3.37	350.00	6.46	9.83
LED	红蓝	Lighting Science Group	5760	5.11	1128	22.56	0.00	0.00	22.56
	红白	Lighting Science Group	5760	4.89	1179	23.58	0.00	0.00	23.58
	红蓝	Lumigro	5760	2.17	2655	53.09	0.00	0.00	53.09
	红白	Illumitex	5760	3.13	1839	36.78	0.00	0.00	36.78
陶瓷金卤 灯	315W3100K	Cyclopitics	3360	3.94	853	17.06	300.00	38.07	55.13
	315W 4200K	Cyclopitics	3360	3.72	903	18.07	260.00	34.95	53.01

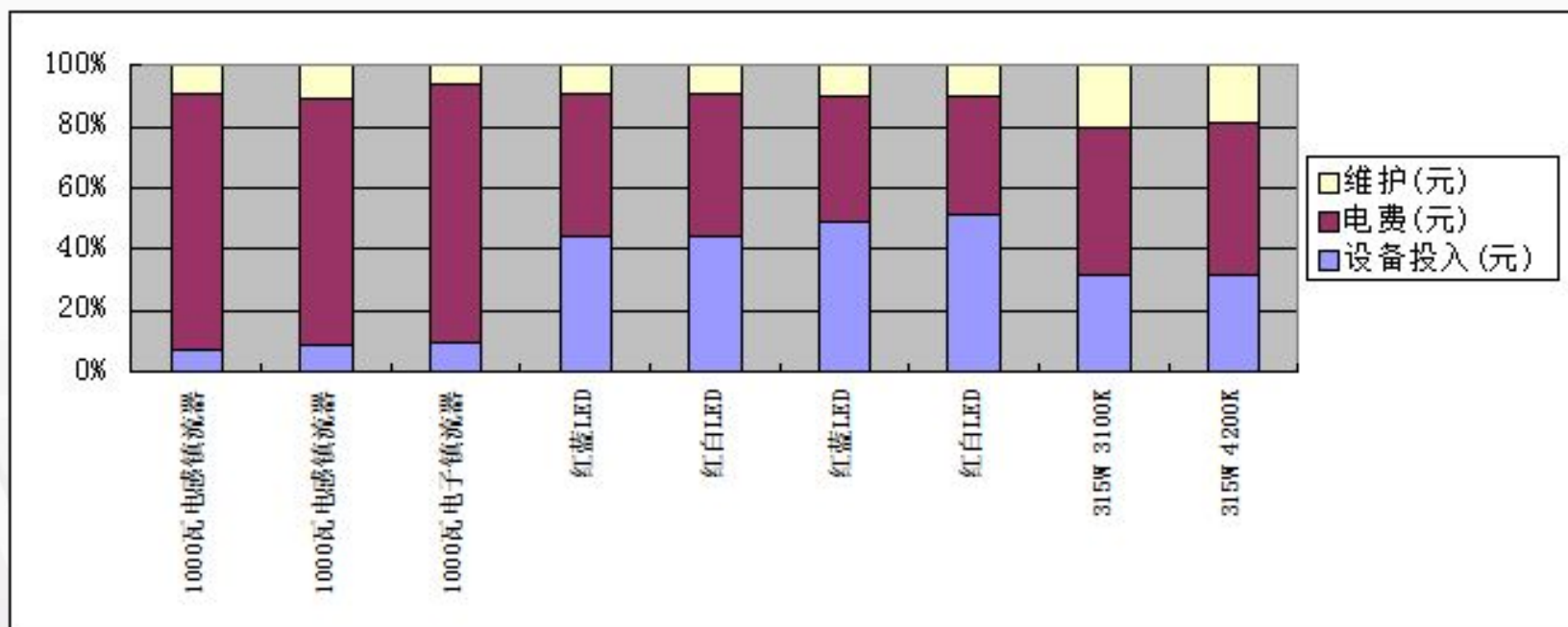
## 成本总计 (元/m<sup>2</sup>/年)

补光灯种类		补光灯品牌	设备投入(元/m <sup>2</sup> 年)	电费(元/m <sup>2</sup> 年)	维护(元/m <sup>2</sup> 年)	总计(元/m <sup>2</sup> 年)
钠灯	1000瓦电感镇流器	Sunlight Supply	15.1	187.2	20.5	222.8
	1000瓦电感镇流器	PARsource	18.1	166.2	21.3	205.6
	1000瓦电子镇流器	PARsource	17.1	147.5	9.8	174.4
LED	红蓝	Lighting Science Group	114.5	119.4	22.6	256.5
	红白	Lighting Science Group	119.6	126.7	23.6	270.0
	红蓝	Lumigro	269.4	227.9	53.1	550.4
	红白	Illumitex	186.6	139.9	36.8	363.4
陶瓷	315W 3100K	Cycloptics	86.6	133.4	55.1	275.1
金卤灯	315W 4200K	Cycloptics	91.7	142.6	53.0	287.3

## 成本分析：1 LED成本高



## 成本分析-成本构成比例



钠灯：电费比例大

LED：设备和电费比例大

金卤灯：维护比例大



## 发热量分析

计算依据：补光灯消耗的电能最终都变成了热，忽略光合作用吸收的光能；1瓦一秒内产生1焦耳热能；1克标煤能产生热29.306千焦热能；

补光灯种类		补光灯品牌	整灯功率 (w)	一只灯照的面积 (m <sup>2</sup> )	功率 (瓦 /m <sup>2</sup> )	发热量 (千焦耳/m <sup>2</sup> 小时)	相当于每天 (8小时) 多少克标煤的热量 (克/m <sup>2</sup> /8小时)
钠灯	电感1000W	Sunlight Supply	1067	8.89	120	432	118
	电感1000W	PARsource	1004	9.42	107	384	105
	电子1000W	PARsource	1024	10.83	95	340	93
LED	红蓝	Lighting Science Group	391	5.11	77	276	75
	红白	Lighting Science Group	397	4.89	81	292	80
	红蓝	Lumigro	317	2.17	146	526	144
	红白	Illumitex	281	3.13	90	323	88
陶瓷金卤灯	315W3100K	Cycloptics	337	3.94	86	308	84
	315W 4200K	Cycloptics	340	3.72	91	329	90

## 节约取暖费（煤炭部分）的分析

补光灯种类		补光灯品牌	整灯功率 (w)	综合成本(元/m <sup>2</sup> 年)	每天生热对应的煤(克/天)	300天煤炭量(千克/年)	煤炭总价值(元)	扣除加热部分的最后成本(元/m <sup>2</sup> 年)
钠灯	1000瓦电感镇流器	Sunlight Supply	1067	222.8	118	35.38	35.38	187
	1000瓦电感镇流器	PARsource	1004	205.6	105	31.42	31.42	174
	1000瓦电子镇流器	PARsource	1024	174.4	93	27.87	27.87	147
LED	红蓝	Lighting Science Group	391	256.5	75	22.57	22.57	234
	红白	Lighting Science Group	397	270.0	80	23.95	23.95	246
	红蓝	Lumigro	317	550.4	144	43.07	43.07	507
	红白	Illumitex	281	363.4	88	26.45	26.45	337
陶瓷	315W 3100K	Cyclopitics	337	275.1	84	25.22	25.22	250
金卤灯	315W 4200K	Cyclopitics	340	287.3	90	26.95	26.95	260

假定：补光灯生成的热是有益处的；煤炭价格为1000元1吨；

# 结论！

- $3\text{mol}/\text{m}^2\text{d}$ ，是典型营养补光参数，每平方米每年综合成本不小于175元！
- 最好的LED的发光效率PPF，比最好的高压钠灯高23%（1.6:1.3），但价格高出数倍，暂时不适合大规模应用！
- 电子钠灯综合成本最低，和国际市场应用潮流一致！
- 补光产生的热能可以抵消部分取暖所需煤炭成本，从中节约补光综合成本的7~16%！
- $3\text{mol}/\text{m}^2\text{d}$ ，经验估算，玻璃纹络温室保温条件下，在北京地区冬季，补光带来的温升可能在 $6\sim 12^\circ\text{C}$ 之间。

# 展望！

- 发光效率，也就是电光转换效率是最可能突破的方向，钠灯可能比较难了，LED可以翻倍！
- 预计2020年，在发光效率大于 $2.5\mu\text{mol}/\text{J}$ 、灯具价格下降到目前的30%以后，如果LED的光衰真的如传说的非常小，将成为主流补光产品！
- 通过智能光控系统控制电子钠灯发光强度（省电），同时智能控制遮阴系统充分利用太阳光，是降低用电成本的出路之一。
- 营养补光的广泛规模应用，可能取决于农产品的价格提高，或者电费的降低，或者补光灯发光效率的提高，或者补光灯具价格的降低，而最后一点不是最重要的！

张补光  
上海芯智侬实业有限公司  
[www.agrismart.cn](http://www.agrismart.cn)  
2014年8月25





# 附录（一）

分类（花卉）	平均每天光总量（mol/m <sup>2</sup> d）
起照点	<5
喜阴类	<6
中等	7~10
喜光	>11
光合效率最高点	各有不同

仅供参考，和花卉类不同，果菜和水稻小麦类，可能达到30.

# 附录 (二)

DLI: “daily light integral”, 每天日照总量, 下表是部分花卉饱和每天日照总量参数, 仅供参考。

Bedding plant crop	Saturating DLI (mol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )
Angelonia Serena series	5
Browallia Bell series	11
Celosia Gloria series	10
Cosmos sulphureus Cosmic series	4
Dahlia Figaro series	11
Dianthus Super Parfait series	6
Gazania Daybreak series	20
Geranium (seed) Florever series	12
Impatiens (bedding) Accent series	<4
Lobelia Riviera series	5
Marigold (African) Antigua series	5
Marigold (African) Moonstruck	8
Marigold (French) Bonanza series	6
Marigold (French) Janie series	6

Bedding plant crop	Saturating DLI (mol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )
Osteospermum Passion series	12
Pentas Graffiti series	7
Petunia (Grandiflora) Dreams series	7
Petunia (Milliflora) Fantasy series	17
Petunia (Spreading) Easy wave series	9
Petunia (Spreading) Wave series	9
Portulaca Margarita series	8
Rudbeckia (annual) Becky series	7
Salvia (blue) Blue Bedder	10
Salvia (red) Vista series	10
Snapdragon Montego series	12
Verbena Obsession series	10
Verbena Quartz series	13
Vinca Viper series	5