

# 光照环境对生菜生长过程和贮存影响的研究进展

付为国<sup>1</sup>, 尹淇淋<sup>1</sup>, 李萍萍<sup>2</sup>

(1. 江苏大学, 现代农业装备与技术教育部重点实验室, 江苏 镇江 212013; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

**摘 要:**针对光照环境对生菜生长和贮存过程中种子萌发, 光质、光照强度以及二者与光照时间对生菜生长过程互作效应的影响研究进行了综述; 介绍了补光、遮光等技术在生菜栽培中的研究和应用现状, 并对光照环境与其它环境因子的相互耦合进行了展望。

**关键词:**生菜; 光照环境; 萌发; 生长; 贮存

**中图分类号:**S 636.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)14-0184-04

生菜属菊科莴苣属 1、2 a 生草本植物, 因以生食为主, 俗称生菜。其营养价值高、口感好<sup>[1-2]</sup>、食用方便、保健功效显著<sup>[3-5]</sup>, 生菜已成为世界上最为普遍的蔬菜品种之一。通过光照、温度、水分、肥料等环境因子调控, 实现生菜优质、高产栽培的研究不断被开展和报道。

随着人们对生菜消费需求的持续增加, 生菜已成为温室蔬菜产品的重要组成部分。在影响作物生长发育的众多环境因子中, 光照环境因子是最重要因子之一, 它是地球上一切生物(极少数自养生物除外)的最终能源, 通常被植物通过光合作用吸收转化为化学能, 形成有机物, 构成生物量。因此, 不同光照环境对生菜种子萌发、生长发育以及收获后保鲜等影响的研究多年来从未间断, 并构成了生菜环境调控研究的重要组成部分。

## 1 光照环境对生菜种子萌发的影响

不同光照环境对生菜种子萌发的研究开展的较早, 自 20 世纪 30 年代开始, 国外一些学者便开始研究不同光照环境、或与其它因子互作对生菜种子萌发影响。其中, Flint 等<sup>[6]</sup>研究发现 5 800~7 000 Å 的光谱区域对生菜萌发具有明显促进作用, 而 7 000~8 000 Å 和 5 000 Å 以下的光谱区域则对生菜种子萌发具有明显抑制作用; Borthwick 等<sup>[7]</sup>的研究将以上促进或抑制的光谱范围限定在一个更小、且更为精确的范围, 即 6 400~6 700 Å 的红光区域对生菜种子萌发促进作用最为敏感, 而 7 200~7 500 Å 的红外光区域对生菜种子萌发抑制作用最为敏感; Kahn 等<sup>[8]</sup>研究发现一定浓度的赤霉素能代替红光促进生菜种子萌发; Judith<sup>[9]</sup>通过研究不同光照

时间与激动素对生菜种子萌发的交互影响后发现, 生菜种子的光敏特性影响激动素对生菜萌发的促进作用; Berrie<sup>[10]</sup>通过研究光温互作对生菜萌发的影响, 提出了关于种子萌发抑制剂的假说, 该假说认为, 在生菜种子萌发的初期, 其内部产生并积累一种抑制种子萌发的物质, 该物质产生量和累积量主要受温度的影响, 其中, 不同温度对光敏系统的影响参与了这一过程; 而 Negbi 等<sup>[11]</sup>将吸胀后的生菜种子曝于红外光 6 h 后, 再进行赤霉素和硫脲处理, 结果发现种子萌发被抑制, 据此, Negbi 等建立了色素系统的操作模型, 并对这一模型在种子萌发机理中的作用进行了讨论。

## 2 光照环境对生菜生长过程的影响

除以上光照环境因子对生菜种子萌发的影响研究外, 相关研究更多地集中在光照环境因子及其与其它一些因子互作对生菜的生理、产量和品质等方面影响。而光照环境影响又进一步细分为光质、光照强度或光照时间独自或互作影响。

### 2.1 光质对生菜生长过程的影响

Mortensen 等<sup>[12]</sup>对生菜及其它几种温室常见蔬菜分别进行蓝光、绿光、黄光、自然光处理, 结果发现, 与自然光、绿光、黄光和红光相比, 蓝光处理后, 生菜干物质积累量和叶面积指数显著降低, 且叶色加深, 而绿光和黄光处理后生菜叶色变淡; Caldwell 等<sup>[13]</sup>将绿叶和红叶生菜分别置于 290~320 nm 紫外光(Ultraviolet-B)条件下培养, 结果发现绿叶生菜类胡萝卜素和叶绿素含量显著增加, 而红叶生菜的含量却显著降低, 个别品种在特定紫外线照射下, 叶片类胡萝卜素含量竟提高 10 倍之多; 对日光灯下培养的生菜幼苗, 分别补偿照射一定强度的紫外光、蓝光、绿光、红光和红外光后发现, 不同光质光分别对生菜生物量、叶面积、茎长或体内花青素、类胡萝卜素和叶绿素、酚醛等指标中的一项或数项具有明显的影响。据此, 通过补偿照射不同光质的光以促进幼苗

**第一作者简介:**付为国(1968-), 男, 博士, 副研究员, 现主要从事设施园艺研究等工作。E-mail: fuweiguo@ujs.edu.cn.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31071327); 江苏省农业科技自主创新资助项目(CX(12)3025)。

**收稿日期:**2013-04-15

生长或提高生菜产量品质的策略被提出<sup>[14]</sup>; Urbonaviciute 等<sup>[15]</sup>用红光分别与青光(500 nm)、蓝光(460 nm)、近紫外光(365 nm)等组合成不同组分的复合光,将生长在复合光照环境下的生菜与传统日光灯下生长的生菜比较后发现,生菜的色素浓度、糖含量以及体内亚硝酸盐含量对不同光照环境具有极高的敏感性;除光合参数叶片气孔导度对光质具有极强的响应关系外<sup>[16]</sup>,其它光合参数如净光合速率、CO<sub>2</sub> 羧化效率以及叶绿素荧光参数等均对光质同样具有明显的响应关系<sup>[17]</sup>; Eskins 等<sup>[18]</sup>研究发现,生菜幼苗期所处的光质环境不仅影响其形态的发育,而且还影响其后期成熟时的苦涩度。另外,叶片内与光照有关的成素转换酶在叶片出现前就已发生,因此,生菜苗期所处的光质环境甚至可影响其后期的发育;对生菜子叶外植体进行不同光质处理后发现,蓝光抑制生菜器官的分化和形成,红光要么促进、要么不影响生菜器官形成,而红光+蓝光并不能消除蓝光对器官形成的抑制作用<sup>[19]</sup>;另外,生菜子叶外植体分枝形成过程中体内多胺含量的多少也受到光质环境的影响<sup>[20]</sup>。

## 2.2 光照强度对生菜生长过程的影响

Blom-Zandstra 等<sup>[21]</sup>研究发现,随着光照强度在一定范围内的下降,生菜体内有机化合物浓度和产量将降低,而体内硝酸盐含量却上升,单位鲜重摄取氮素量将增加,而合成蛋白质所用氮素量将减少。随着光照强度的升高,有机酸(主要是苹果酸)和糖(主要是葡萄糖)的含量将上升,而体内硝酸盐含量将降低,体内汁液的渗透压略增。其中,低光照环境下生菜体内硝酸盐上升,补偿因光合作用降低而导致的碳水化合物不足,强光照环境下生菜体内硝酸盐下降,则由因光合增强有机酸或糖的上升补偿,从而维持不同光照环境下体内汁液渗透压的相对平衡。生菜体内硝酸盐积累与光照强度负相关的结论也被其它研究所证实<sup>[22]</sup>; Knight 等<sup>[23]</sup>研究发现不同品种生菜的产量对不同光强、温度、氮肥水平、氮肥种类等存在明显的响应差异,总体上,一定光强范围内,“高光+高温”时,生菜叶片干物质积累量最高;而“低光+低温”时,干物质积累量最低;该研究同时还发现,在 889  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  高光强水平下,尽管各供试生菜在昼/夜为 25℃/25℃ 温周期下生物量均高于其在 25℃/20℃ 温周期下对应值,但生物量的相对增长率却相同。通常情况下,植物的光能利用效率随着光照强度的增加而降低,反之,光能利用效率随着光照强度的减弱而上升。有研究显示,光照强度在 200~800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,生菜的光能利用效率变化遵循以上规律,但当光强降至 100  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时生菜的叶绿素荧光参数光化学淬灭(qP)、实际光化学效率( $\Phi\text{PSII}$ )和表观电子传递速率(ETR)均显著降低,这些指标显示生菜的光能利用效率显著下降。这或许是光能利用效率与光强负

相关这一规律只适合于一定的光能,也有可能是由生菜或特定生菜品种的生物学特性决定的<sup>[24]</sup>。与光质一样,光照强度也影响着生菜的形态发育,研究显示低光照条件可诱使生菜盖度提高<sup>[25]</sup>。

## 2.3 光质、光照强度和光照时间对生菜生长过程的互作效应

光照环境通过包括光质、光照强度和光照时间三方面,将其中二者或三者结合在一起,研究其对生菜生长的影响更具有实际意义。Katsumi 等<sup>[26]</sup>研究了远红光、红光以及蓝光在不同光照时间和温度条件下对生菜产量的影响,结果显示不同复合环境下生菜总产量以及地上部分和地下部分的干物质分配均不同; Yanagi 等<sup>[27]</sup>利用 LED 发射的 3 种不同光谱(单色红光、单色蓝光、红/蓝复合光)、2 个弱光强水平(85  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和 170  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )以及一定的昼夜周期(光照时间)和温度范围,研究其对生菜生长及其形态发生的复合效应。结果显示,在以上 2 个光强水平下,单色红光较单色蓝光能诱导形成更多的叶片,但低于红/蓝复合光诱导形成的叶片数量,单色蓝光下叶片的边际增长率低于单色红光以及红/蓝复合光的相应值,而单色蓝光下叶片的倾角均大于单色红光以及红/蓝复合光的相应值。不同光质下,光强为 170  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时生菜的干物质总量均高于光强为 85  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时的干物质总量;王志敏等<sup>[28]</sup>研究了不同红蓝 LED 光照强度对生菜生长和品质的影响,结果显示,300  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度有利于提高叶用莴苣的品质,而 100  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度有利于叶用莴苣的生长;Fu 等<sup>[22]</sup>将生菜置于光照强度分别为 100、200、400、600 和 800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  5 个光强梯度下培养 15 d,结果显示,尽管光强为 600  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时生菜生物量最高,但有轻度光抑制现象出现,而光强达到 800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,生菜生物量显著降低,各类抗氧化酶活性下降,膜脂过氧化加剧,重度光抑制现象发生。

## 3 光照环境对生菜贮藏过程中的影响

随着近年来生菜更多的被生食,关于生菜在贮存过程中保鲜方面的研究报道逐渐增多,除不同氮肥水平的控制、栽培季节的安排、贮藏方式的选择等可影响生菜贮藏过程中品质的保存<sup>[29-31]</sup>外,光照环境调控也是生菜贮存的重要途径之一<sup>[14]</sup>。其中,低剂量电子束辐射在不改变其品质的同时,对包装后的生菜具有杀菌效果<sup>[32-33]</sup>。Martínez-Sánchez 等<sup>[2]</sup>研究发现,低光照和低氧环境对生菜产品色泽和内含物具有保护作用,且在一定光照环境下贮存时,生菜呼吸速率的增加可通过其光合作用实现补偿。

## 4 补光和遮光技术在生菜栽培中的研究和应用

### 4.1 补光技术

生菜作为一种冷季型蔬菜,在全世界范围内广为种

植,尤其是北欧、北美等地区种植更为广泛。但在这些高纬度地区,冬季温室内光照不足成为制约生菜高产栽培的主要障碍,补光措施常被用于生菜育苗和繁殖阶段,而整个生长阶段因补光成本较高,应用较少。而在加拿大魁北克省,水电资源丰富,用电成本低廉,补光技术被广泛应用到温室冬季作物的生产中,其中,生菜几乎全生育期采用补光技术<sup>[34]</sup>;补光时间选择上,有研究显示,白天补光和夜晚补光对生菜光合产物积累的差异较小<sup>[35]</sup>;补光光源选择上,尽管不同强度的日光灯+荧光灯组合对生菜干物质、叶面积、相对生长率、净同化率、光合速率有不同程度的影响<sup>[36]</sup>,但目前补光灯的类型仍以高压钠灯(High-Pressure Sodium, HPS)和金属卤化物灯(Metal Halide, MH)为主,二者对植物生长差异主要归因于植物对蓝光的响应<sup>[37]</sup>;另有研究显示,高压钠灯补偿照射光与自然太阳辐射光对生菜生长发育具有同样的效果,因此,高压钠灯在生菜的补光生产中最为常用<sup>[38]</sup>;CO<sub>2</sub>+补光是设施园艺常用的提高生产力的措施,然而,补光成本较高,维持高通风率的温室大棚高浓度CO<sub>2</sub>也不大可能。为此,在充分考虑到温室大棚通风率、自然环境光照、经济可接受的补光量和高浓度CO<sub>2</sub>因素后,针对生菜,一种实现补光量和CO<sub>2</sub>浓度优化、具有较为理想经济效益的模型已建立<sup>[39-40]</sup>;Ioslovich<sup>[41]</sup>则利用现有的生菜模型和一种简单的温室模型,通过补光措施实现了温室生菜的优化控制策略。

#### 4.2 遮光技术

生菜补光技术主要应用于高纬度地区冬季温室大棚栽培中,而对于低纬度地区,夏季生菜栽培时常需要采用遮光技术。这是由于生菜的光饱和点相对较低,自然的高光照环境常抑制生菜的生长,甚至导致伤害<sup>[42]</sup>。通常情况下,如果自然光照强度超过生菜的光饱和点即应采用遮光技术,但对于生菜的光饱和点,普遍的共识是此值相对较低,但不同研究结果各不相同,有研究显示,高达889~932  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的光照强度仍可促进生菜的生长<sup>[23]</sup>;另有研究显示,生菜的光补偿点只有500~520  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ <sup>[25]</sup>;还有研究显示,对于国内普遍栽种的意大利全年生耐抽薹生菜品种,当光照强度达到600  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,轻微的光抑制即发生<sup>[22,24]</sup>。

#### 5 展望

株型结构上,生菜尤其适合工厂化设施立体栽培,在当前大力发展设施园艺和生菜的背景下,工厂化栽培必将成为今后生菜主要栽培措施之一。蔬菜工厂化栽培技术主要是通过对包括光照环境因子在内的诸多环境因子精确调控和优化,实现蔬菜优质高产生产的一项现代农业技术。其中,光照环境调控主要是科学、合理、经济的补光技术优化。然而,光照环境因子又同其它诸

多环境交互作用,最终影响蔬菜的产量和品质。因此,关于不同光质、光照强度和光照时间与温度、CO<sub>2</sub>、空气湿度、基质养分等环境因子的相互耦合研究,必将是今后生菜工厂化栽培最为迫切的技术要求。

鉴于目前我国补光成本较高,补光技术应用范围相对有限。在我国广大南方地区,夏季太阳辐射强度高,远远超过生菜的光饱和点,对于广大露地栽培,采用适当的遮光技术,将有助于生菜生产。然而,目前有关生菜栽培过程中遮光技术的研究相对较少。因此,如何确定遮光时的光强范围以及遮光后对生菜品质改变将是今后有关研究的主要内容。

在之前众多研究的结论中,存在某些不一致的研究结果,譬如生菜光饱和点、最适光强等差异<sup>[23,25]</sup>,这既有可能源于不同研究所用生菜品种的差异,也有可能源于不同研究中其它环境因子的差异。因此,针对某一具体品种,尤其是大面积栽培的品种,开展相应的补光和遮光技术研究也将是今后园艺研究的重要内容。

#### 参考文献

- [1] Llorach R, Martínez-Sánchez A, Tomás-Barberán F A, et al. Characterization of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole[J]. Food Chemistry, 2008, 108: 1028-1038.
- [2] Martínez-Sánchez A, Tudela J A, Luna C, et al. Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59: 34-42.
- [3] 花项. 生菜好吃又防癌[J]. 医药保健杂志, 2007(16): 50.
- [4] 赵春芳, 李平亚, 张宏, 等. 生菜茎叶挥发油的研究[J]. 中草药, 2008(8): 577.
- [5] 崔丽洁, 芦丽亚, 叶坚, 等. 开发一种预防和治疗骨质疏松症的功能性生菜[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2009, 27: 465-474.
- [6] Flint L H, McAlister E D. Wavelengths of radiation in the visible spectrum promoting the germination of light-sensitive lettuce seeds[J]. Smithsonian Misc Collect, 1937, 96(2): 1-11.
- [7] Borthwick H A, Hendricks S B, Toole V K. Action of light on lettuce-seed germination[J]. Botanical Gazette, 1954, 115: 205-225.
- [8] Kahn A, Meyers B C. Effect of gibberellin on germination of lettuce seed[J]. Science, 1957, 125: 645-646.
- [9] Judith L. Interaction between Kinetin and light on germination of grand rapids lettuce seeds[J]. Plant Physiology, 1964, 39(3): 299-303.
- [10] Berrie A M M. The effect of temperature and light on the germination of lettuce seeds[J]. Physiologia Plantarum, 1966, 19: 429-436.
- [11] Negbi M, Black M, Bewley J D. Far-red sensitive dark processes essential for light-and gibberellin-induced germination of lettuce seed[J]. Plant Physiology, 1968, 43: 35-40.
- [12] Mortensen L M, Stromme E. Effects of light quality on some greenhouse crops[J]. Scientia Horticulturae, 1987, 33: 27-36.
- [13] Caldwell C R, Britz S J. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of green house-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19: 637-644.
- [14] Li Q, Kubota C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 67: 59-64.



- [15] Urbonaviciute A, Pinho P, Samuoliene G, et al. Effect of short-wavelength light on lettuce growth and nutritional quality[J]. Scientific Works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture-Sodininkyste ir Darzininkyste, 2007, 26: 157-165.
- [16] Kim H H, Goins G D, Wheeler R M. Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities[J]. Annals of Botany, 2004, 94: 691-697.
- [17] 许莉, 刘世琦, 齐连东, 等. 不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响[J]. 植物生理科学, 2007(23): 96-100.
- [18] Eskins K, Warner K, Felker F C. Light quality during early seedling development influences the morphology and bitter taste intensity of mature lettuce (*Lactuca sativa*) leaves[J]. Journal of Plant Physiology, 1996, 147: 709-713.
- [19] Hunter D C, Burritt D J. Light quality influences adventitious shoot production from cotyledon explants of lettuce (*Lactuca sativa* L.)[J]. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant, 2004, 40: 215-220.
- [20] Hunter D C, Burritt D J. Light quality influences the polyamine content of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cotyledon explants during shoot production *in vitro*[J]. Plant Growth Regulation, 2005, 45: 53-61.
- [21] Blom-Zandstra M, Lampe J E M. The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown at different light intensities[J]. Journal of Experimental Botany, 1985, 36: 1043-1052.
- [22] Fu W G, Li P P, Wu Y Y, et al. Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality, and biomass in lettuce[J]. Horticultural Science, 2012, 39(3): 129-134.
- [23] Knight S L, Mitchell C A. Stimulation of lettuce productivity by manipulation of diurnal temperature and light[J]. Hort Science, 1983, 18: 462-463.
- [24] Fu W G, Li P P, Wu Y Y. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 135: 45-51.
- [25] Glenn E P, Cardran P, Thompson T L. Seasonal effects of shading on growth of greenhouse lettuce and spinach[J]. Scientia Horticulturae, 1984, 24: 231-239.
- [26] Katsumi I, Yoichi Y. Effects of light quality, daylength and periodic temperature variation on the growth of lettuce and radish plants[J]. Japanese Journal of Crop Science, 1989, 58(4): 689-694.
- [27] Yanagi T, Okamoto K, Takita S. Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants[C]. ISHS Acta Horticulturae, 440: International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems, 1996.
- [28] 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(16): 44-49.
- [29] 荣建华, 闵光, 赵思明. 不同贮藏方式对生菜品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2007(26): 574-576.
- [30] 唐罗欧. 不同贮存条件下生菜中维生素 C 和 E 含量分析[J]. 中国食物与营养, 2010(6): 45-48.
- [31] Konstantopoulou E, Kapotisa G, Salachasa G, et al. Nutritional quality of greenhouse lettuce at harvest and after storage in relation to N application and cultivation season[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 125: 1-5.
- [32] Prakash A, Guner A R, Caporaso F, et al. Effects of low-dose gamma irradiation on the shelf life and quality characteristics of cut romaine lettuce packaged under modified atmosphere[J]. Journal of Food Science, 2000, 65: 549-553.
- [33] Han J, Gomes-Feitosa C L, Castell-Perez E, et al. Quality of packaged romaine lettuce hearts exposed to low-dose electron beam irradiation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37: 705-715.
- [34] Dorais M, Gosselin A. Physiological response of greenhouse vegetable crops to supplemental lighting[C]. ISHS Acta Horticulturae 580: IV International ISHS Symposium on Artificial Lighting, 2000.
- [35] Both A J, Albright L D, Langhans R W. Hydroponic lettuce production influenced by integrated supplemental light levels in a controlled environment agriculture facility; Experimental Results[C]. ISHS Acta Horticulturae 418: III International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture, 1997.
- [36] Knight S L, Mitchell C A. Effects of incandescent radiation on photosynthesis, growth rate and yield of 'Waldmann's Green' leaf lettuce[J]. Scientia Horticulturae, 1988, 35: 37-49.
- [37] Dougher T A O, Bugbee B. Evidence for Yellow Light Suppression of Lettuce Growth[J]. Photochemistry and Photobiology, 2001, 73: 208-212.
- [38] Albright L D, Both A J, Chiu A J. Controlling greenhouse light to a consistent daily integral[J]. Transactions of the ASABE, 2000, 43: 421-431.
- [39] Both A J, Albright L D, Langhans R W. Coordinated management of daily PAR integral and carbon dioxide for hydroponic lettuce production[J]. Acta Horticulturae, 1997, 456: 45-51.
- [40] Ferentinos K P, Albright L D, Ramani D V. Optimal light integral and carbon dioxide concentration combinations for lettuce in ventilated greenhouses[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000, 77: 309-315.
- [41] Ioslovich I. Optimal control strategy for greenhouse lettuce; Incorporating supplemental lighting[J]. Biosystems Engineering, 2009, 103: 57-67.
- [42] 胡永光, 李萍萍, 毛罕平. 温室生菜的光合特性及环境参数优化的试验研究[J]. 江苏理工大学学报, 1999, 20(3): 1-3.

## Research Progress on Effects of Light on Growth Process and Storage of Romaine Lettuce

FU Wei-guo<sup>1</sup>, YIN Qi-lin<sup>1</sup>, LI Ping-ping<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology (Ministry of Education), Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013;  
2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

**Abstract:** According to the effect of light environment on the growth of romaine lettuce and seed germination in the process of storage, the influence of light quality, light intensity and illumination time on the interaction effect in the growth stage was summarized; the research and application status of shading and supplemental lighting in the romaine lettuce cultivation were introduced, the intercoupling of light environment and other environment factors was prospected.

**Key words:** romaine lettuce; light environment; germinate; growth; storage