

生長調節物質 處理가 콩나물의 生育 및 細根發生에 미치는 影響

II. 生長調節物質 處理가 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 效果

姜忠吉*, 李政明**, 坂齊***

Effect of Plant Growth Regulator Treatments on the Growth and Lateral Root Formation in Soybean Sprouts

II. Effect of Plant Growth Regulator Treatment on the Ethylene Evolution in Soybean Sprouts

Kang, C.K*, J.M. Lee** and H. Saka***

ABSTRACT

This experiments were conducted to investigate the effect of plant growth regulator treatments on the ethylene evolution in soybean sprouts. Major results can be summarized as follows.

1. IAA showed no significant effect on the ethylene evolution in soybean sprouts.
2. BA increased significantly ethylene evolution while kinetin, zeatin, zeatin riboside were less effective on the ethylene production in soybean sprouts.
3. As the BA concentration was increased, the ethylene evolution was increased.
4. BA increased ethylene production more effectively at earlier stages while 4PU-30 was more effective for ethylene production rather continuously.
5. The order of effectiveness of cytokinins and auxin on the ethylene evolution was as follows: BA 25 ppm > BA 25ppm + IAA 25ppm ≥ 4PU-30 25ppm > IAA 25ppm > control.
6. It can be concluded that BA was the most effective in inhibiting lateral roots, among the cytokinins tested, and resulted in the biggest diameter of hypocotyl by the ethylene evolution stimulated by BA treatment.

緒 言

콩나물에 對한 國內에서의 研究는 主로 大豆 發芽中の 蛋白質, vitamin 및 一般成分의 變化에 關한 것이 많이 遂行 2,5,6,7,20,21,34 된 反面 生長調節物質에 依한 콩나물의 生長制御에 關한 研究는 極히 一部에서 遂行되었고, 또한 結果 그 自體만을 檢討 해온 實情이다. 5,8,15,16,19) 外國에서의 研究는 青木

等^D에 의하면 콩나물 栽培時 25℃ 溫水에 10時間 程度 浸漬시키고, ethylene의 施用은 1~2 ppm 程度로 充分히 栽培가 可能하여 콩나물 製造의 省資源化에 寄與할 수 있다고 하였다. Chang과 Chen⁹은 2,4-D, BA 및 ethylene이 숙주나물에 效果의 이라 했고, Ke等¹⁰은 2,4-D 處理時 內生 ethylene이 增加했다고 報告하였다.

콩나물은 細根이 發生되지 않고, 伸長이 抑制되면서 下胚軸의 肥大가 促進되는 것이 良質의 콩나

* 農藥研究所 農藥生物科 Agricultural Chemicals Research Institute, RDA, Suweon, 440-707, Korea

** 慶熙大學校 産業大學 園藝學科 Dept. of Horticulture, Kyung Hee Univ. Yong-in, 449-900, Korea

*** 日本 農業生物資源研究所 生理活性物質研究室 National Institute of Agrobiological Resources, Tsukuba, 305, Japan

물이라고 불리워지는데, 姜^{12,13}은 콩나물의 品質이 細根發生, 下胚軸의 伸長 및 肥大程度 등의 諸形質과 깊은 關係를 맺고 있으며, 이러한 條件設定에 適合한 生長調節物質로는 BA가 最適이라고 報告하였다.

一般的으로 5種類의 生長調節物質 即 auxin, gibberellin, cytokinin, ABA 및 ethylene 中 cytokinin이 植物의 뿌리原基 및 細根發生을 抑制시키는 것으로 알려져 있다.^{3, 10, 25, 27, 29, 30, 31, 32, 33} 그러나 콩나물에 cytokinin 處理時 下胚軸의 伸長抑制 및 肥大促進에 對한 生理的 機構에 對한 報告는 거의 없었기에 本 研究는 이러한 生理的 機構를 究明하고, 또한 hormonal balance 面에서의 變化 및 細根發生이 抑制된 콩나물의 特性 등을 研究하므로써 콩나물 栽培時 生長調節物質의 利用에 다른 問題點과 그 解決 方案을 摸索하고 이들 結果를 實用的인 콩나물 栽培方法과도 關聯시켜 國內 産業發展에 寄與하고자 하였다.

材料 및 方法

實驗 I. 生長調節物質 處理가 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 效果

콩나물의 栽培는 I 報¹³와 同一하게 栽培하였고, 所定濃度의 生長調節物質 또한 同一하게 調製하여 處理하였다. ethylene의 測定은 먼저 50ml test tube 바닥에 脫脂綿을 깔고, 蒸溜水 5ml 씩을 넣은 後 暗室에서 生長中인 콩나물 4本씩을 핀셀으로 조심스럽게 test tube에 집어 넣고, 콩나물 뿌리와 蒸溜水가 接觸이 되게끔 약간 누른 後 二重 고무마개로 덮었다. 콩나물 栽培場所에서 24時間 保管하였고, ethylene의 sampling은 1ml syringe로 하였으며 gas chromatograph(GC 7A Gas Chromatograph, Shimazu社)에 injection시켜 測定하였고, ethylene 調査後 即時 生體重을 調査하였다.

實驗 II. cytokinin과 ethrel의 處理時間이 콩나물의 生育에 미치는 影響

300ml tall beaker의 바닥에 2g의 脫脂綿을 깔고, 所定濃度의 藥劑 20ml 씩을 處理時間別로 處理하였으며, 脫脂綿 위에 한 層의 發芽된 콩을 定位하였다. 即 3時間 處理區(3HAT)는 藥劑處理 3時間後 다른 tall beaker에 새로운 脫脂綿을 깔고 蒸溜水 20ml 씩을 부은 後 그 위에 콩을 옮기므로써

3時間의 藥劑處理를 하였고, 24時間 處理(24 H-AT)는 24時間後 같은 方法으로, 그리고 連續處理는 每日 同一한 時間에 所定濃度의 藥劑(4일 동안) 處理한 새로운 pot에 옮겨 주었다.

結果 및 考察

實驗 I. 生長調節物質 處理가 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 效果

1. 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 auxin의 處理效果

auxin이 콩나물의 ethylene(C₂H₄) 發生에 미치는 影響은 그림 1에서 보는 바와 같이 IAA 25ppm 處理는 ethylene 發生에 뚜렷한 影響이 보이지 않았으며, 無處理와 類似하였다. Imaseki等¹⁴은 강남콩 下胚軸 切片에 對한 ethylene 發生量은 外生 IAA 濃度를 10倍 增加시킬 境遇 그 發生量이 2倍 增加한다고 하였는데, IAA 濃度를 增加할 境遇 ethylene 發生이 더욱 增加할 것인지에 對해서는 追後 檢討가 要望된다.

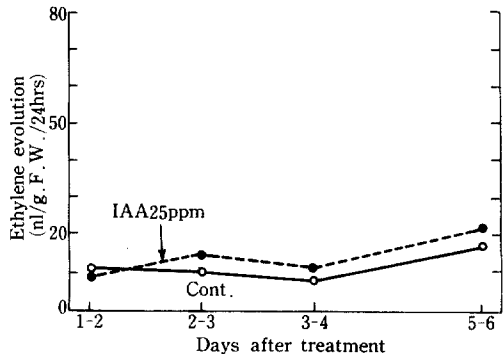


Fig. 1. Effect of IAA on the ethylene evolution in soybean sprouts.

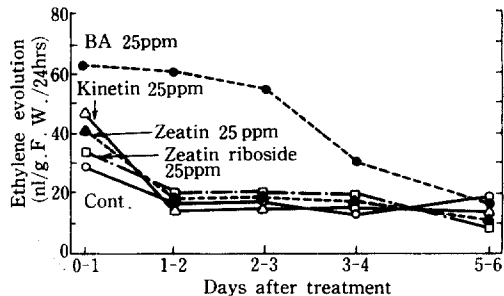


Fig. 2. Effect of cytokinins on the ethylene evolution in soybean sprouts.

2. 콩나물의 ethylene 발생에 미치는 cytokinin 및類似物質의處理效果

Cytokinin 種類別 處理가 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 影響은 그림 2에서 보는 바와 같이 BA가 다른 cytokinin類인 kinetin, zeatin, zeatin riboside에 비해 ethylene 發生을 크게 增加시켰는데, 이는 Suttle²⁶⁾의 報告와 類似하였다. 處理後 0~1日 사이의 콩나물의 ethylene 發生量은 BA 25 ppm 處理가 같은 濃度の kinetin에 비해 約 1.5倍, zeatin의 約 1.7倍, zeatin riboside의 約 1.6倍程度 發生되었고, 處理後 2~3日까지 顯著하게 높은 水準으로 持續된 反面 kinetin 등은 處理後 1~2日에 無處理와 같은 水準이 되어 ethylene 發生 樣相에 큰 差異가 있었다. 處理後 1~2日에 있어서는 BA 25 ppm 處理時 kinetin의 約 4.4倍, zeatin의 3.6倍, zeatin riboside의 約 3.4倍가 發生되어 그 差異가 0~1日보다도 더욱 컸다.

BA 濃度別 處理가 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 影響은 그림 3에서 보는 바와 같이 BA 濃도가 높을수록 ethylene 發生은 增加했고, BA 100 ppm 處理 1~2日後에 126.131 nl/g F.W./24 hrs로 最大發生을 보였고, 漸次 減少하여 處理 5~6日에는 無處理와 同等的한 傾向이었다. Schlaghauer等²⁴⁾은 강남콩 下胚軸 切片에서의 ethylene 發生 增加는 cytokinin의 濃도가 높을수록 增加했다고 報告한 바 있는데 이 結果는 本實驗의 結果와 같았고, 또한 Yang³⁵⁾은 gas 狀의 植物生長調整劑인 ethylene은 植物의 生長, 發育過程을 微量으로 抑制하고, 農業上 最初로 實用化된 植物生長調整劑라고 하면서 그 利用이 密封한 房에 植物을 넣었을 때 限한다고 하여 콩나물 栽培에도 그 利用 可能性을 暗示하고 있다.

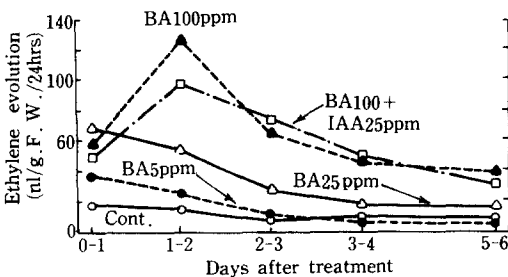


Fig. 3. Effect of BA treatments on the ethylene evolution in soybean sprouts.

3. BA와 他物質과의 混用處理가 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 效果

BA와 他物質과의 混用處理가 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 效果는 그림 4에서 보는 바와 같이 BA 25 ppm의 處理 1~2日後 77.023 nl/g F.W./24 hrs로서 最大의 發生量을 보였다가 經過日數別로 漸次 減少하여 處理後 5~6日째에는 無處理와 類似하였다. IAA 25 ppm 處理는 ethylene 發生에 어떤 影響이 보이지 않았으며, IAA 25 + BA 25 ppm 處理와 4 PU-30 25 ppm 處理에서 處理 1~2日後 各各 56.887, 45.488 nl/g F.W./24 hrs를 보인 後 漸次 減少하여 處理 5~6日後에는 無處理와 같은 水準이었다. 그런데 4 PU-30의 ethylene 發生 樣相은 BA가 短期間 強하게 持續되는데 反하여 4 PU-30은 그 持續期間이 오래 維持되는 것 같다.

Suttle²⁶⁾은 목화 잎에 cytokinin 處理時 ethylene 發生量이 thidiazuron > BA > isopentyladenine > zeatin > kinetin 順이었고, 處理後 24時間에 ethylene 發生이 最大였다가 그 後 減少하였다고 報告하여 本實驗 結果와 같은 傾向이었다. cytokinin이 ethylene 發生을 增加시킨다는 많은 報告가 있는데, Fuchs와 Lieberman⁹⁾은 alaska 완두의 6日된 줄기 切片에 있어서 kinetin이 ethylene 發生에 影響을 미치지 않았다고 했는데, 本實驗에서도 그림 2의 結果에서 보듯이 kinetin이 BA보다 ethylene 發生量이 뚜렷이 낮았다. Lau와 Yang은^{17,18)} kinetin + Ca⁺⁺를 同時에 處理時 ethylene 發生의 相乘效果를 報告하면서 IAA나 GA₃에 對한 Ca⁺⁺의 相乘效果는 없다고 하였다. kinetin + Ca⁺⁺ 撒布에 의한 ethylene 發生의

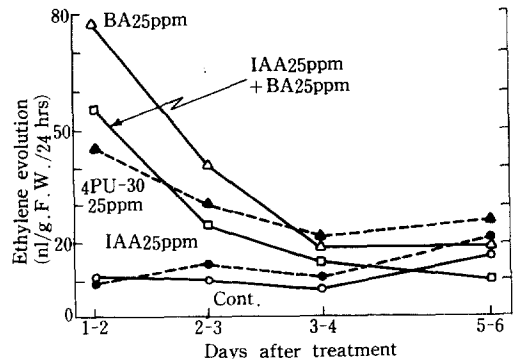


Fig. 4. Effect of IAA and cytokinins on the ethylene evolution in soybean sprouts.

相乘效果는 kinetin이 incubation 6時間後 $^{45}\text{Ca}^{++}$ 의 吸收를 크게 增加시키고, 또한 Ca^{++} 는 kinetin-8- ^{14}C 의 吸收를 增加시키므로서 結論的으로 Ca^{++} 處理한 切片에 남아 있는 kinetin-8- ^{14}C 의 量이 無處理보다 적었다고 하였다. Poller等²³⁾은 stress를 받으면 ethylene이 發生되는데, 예를 들어 傷處, 해로운 農藥, 乾燥, 浸水 등에 의해 發生量이 增加하고, 植物 生活環(life cycle)의 特殊期 即 成熟期, 꽃이 시들 때 및 落葉時에도 發生한다고 했다.

以上の 여러가지 報告에서 본 바와 같이 cytokinin類가 ethylene 發生을 促進하나 IAA나 gibberellin 處理에서는 ethylene 發生에 큰 影響이 없었다는 報告와 같은 結果를 그림 4에서 보여 주고 있는데, BA에 IAA의 添加는 BA 單獨處理보다 ethylene 發生을 오히려 抑制하였고, ethylene이 콩나물 肥大에 크게 關係하고 있음을 생각할 때 BA에 IAA의 添加는 實用面에서도 그다지 바람직한 것은 아니라고 判斷된다.

結論的으로 콩나물에서의 ethylene 發生은 BA>

4 PU-30 > 다른 cytokinin類 > IAA 順이었고, ethylene 發生의 持續期間은 約 3日程度인데 BA는 短期間에 強하게 持續된 反面 4 PU-30은 더욱 오래 가는 것 같다.

實驗 II. cytokinin과 ethrel의 處理時間이 콩나물 生育에 미치는 影響

植物 hormone中에서 cytokinin이, cytokinin中에서도 zeatin이나 zeatin riboside가 強力한 發根抑制劑로 報告되고 있다.^{3, 22, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33)} 이러한 一連의 報告와는 달리 本 研究^{12, 13)}에서는 kinetin, zeatin, zeatin riboside의 細根發生 抑制效果가 輕微한 反面 BA나 4 PU-30은 그效果가 顯著하였다. 本 實驗은 콩나물의 cytokinin 種類別 處理效果의 顯著한 差異에 對한 生理的 機構에 關해 더욱 具體的으로 研究코자 遂行하였다.

BA, kinetin, ethrel을 各各 25 ppm으로 一定하게 하고 處理時間을 3時間, 24時間 및 連續處理로 區分하여 處理한 結果 콩나물의 伸長에 미치는 效果는 그림 5에서 보는 바와 같다. BA는 3

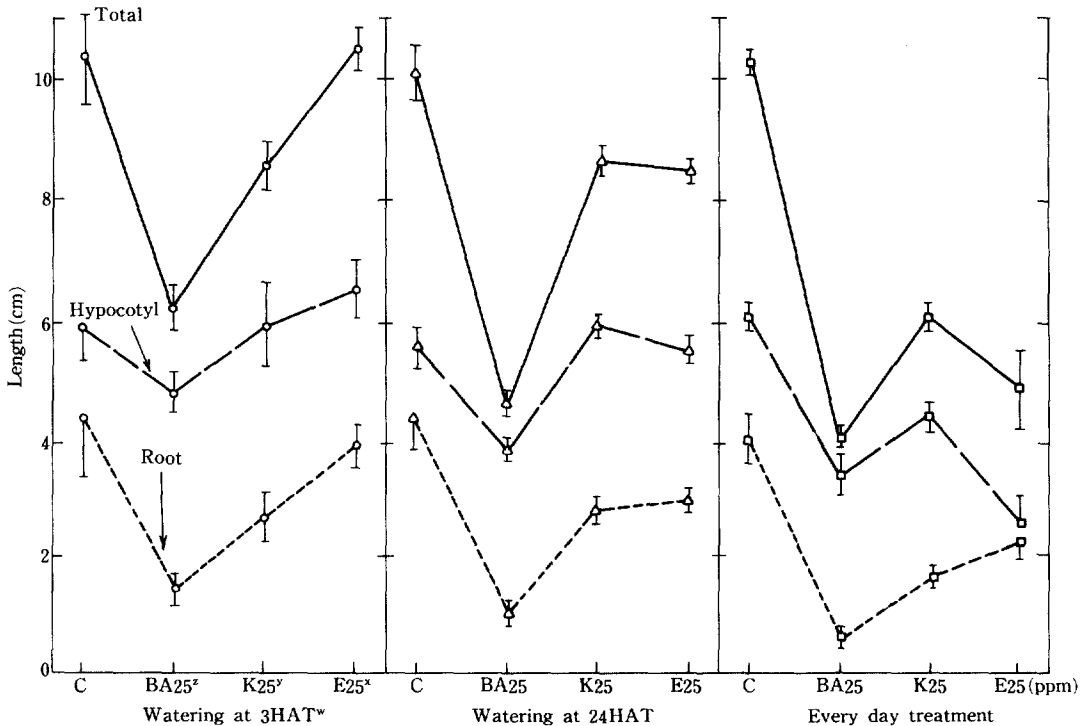


Fig. 5. Changes of soybean sprout elongation as influenced by different treatment duration of cytokinin and ethrel.

z : BA 25ppm

x : Ethrel 25ppm

y : Kinetin 25ppm

w : Hours after treatment

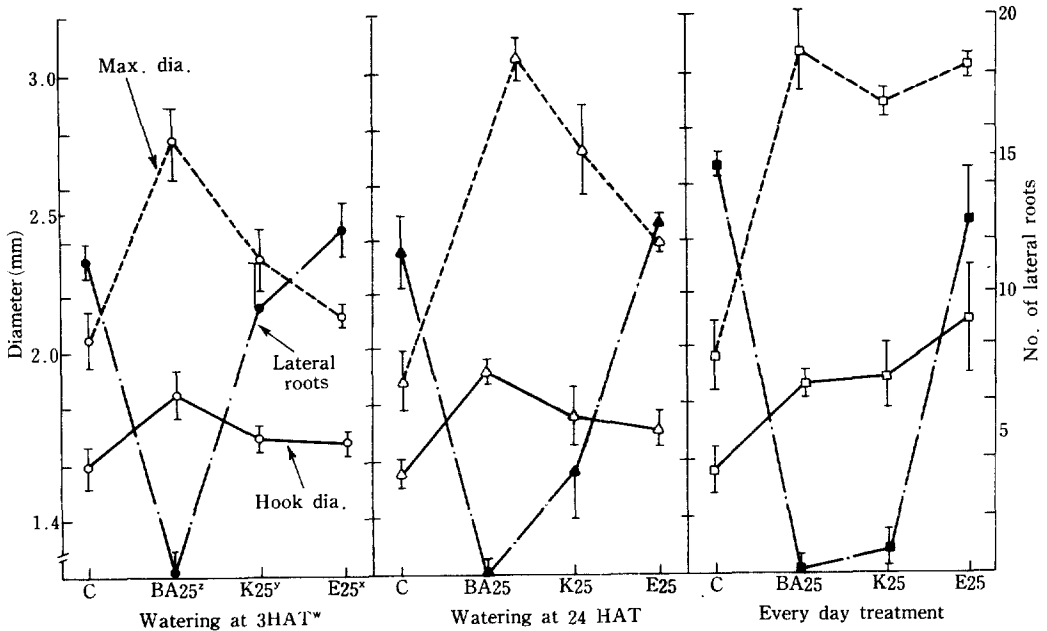


Fig. 6. Changes of diameter and no. of lateral roots in soybean sprouts as influenced by different treatment duration.

z : BA 25ppm

x : Ethrel 25ppm

y : Kinetin 25ppm

w : Hours after treatment

時間(慣行)處理에서 이미 全長, 下胚軸長 및 根長을 減少시켰으나 kinetin은 處理時間이 길어져야만 伸長을 抑制시킬 수 있었다. ethrel 處理도 處理時間이 길어지면 콩나물의 伸長이 抑制됨을 알 수 있었다.

콩나물의 肥大程度 및 細根發生數에 미치는 影響은 그림 6에서 보는 바와 같이 BA는 3時間處理에서 이미 hook 및 最大直徑을 크게 促進시킨 反面 kinetin은 處理時間이 길 境遇 hook 및 最大直徑을 促進시켰다. ethrel 25 ppm 또한 處理時間이 길면 肥大가 促進되었다.

細根發生은 BA가 3時間處理에서 이미 크게 抑制시킨데 對해 kinetin은 連續處理할 境遇 細根發生이 크게 抑制되어 處理時間이 길어야만 細根發生을 抑制시킬 수 있었다. ethrel은 處理時間이 길어져도 細根은 約 12個 以上 發生되었는데 이는 cytokinin이 콩나물의 細根發生을 抑制시키며, ethrel은 콩나물의 細根發生 抑制와는 直接的인 相關이 없고, ethrel이 ethylene을 發生시키기 때문에 ethylene發生이 콩나물의 細根發生과는 無關係를 意味한다. 한편 콩나물의 細根發生 抑制와 cytokinin의 種類와는 그 反應이 顯著하게 差異가 甚하

였는데 이는 cytokinin의 specificity로 思料되나 여기에 對한 보다 깊은 研究가 要望된다.

콩나물의 下胚軸 및 最大直徑의 促進은 BA에 의해 크게 促進되었는데^{12, 13}, 이는 BA가 다른 cytokinin에 비해 ethylene發生을 크게 促進시키므로서 콩나물의 肥大가 促進된 것으로 判斷된다. kinetin, zeatin, zeatin riboside의 肥大促進效果가 輕微하였는데, 이는 그림 1, 2, 3, 4에서 보듯이 ethylene發生을 促進시키지 못한 것에 起因하는 것으로 생각된다. 그러나 이들의 連續處理時 肥大가 促進됨을 볼 때(그림 6) 處理時間에 따른 cytokinin 種類別 特殊性(specificity) 혹은 translocation이 크게 關係하고 있는 것 같다. 한편 ethrel의 處理時間이 길어질수록 콩나물의 肥大가 促進되어 ethylene이 콩나물의 肥大와 密接한 關係가 있음을 보여 주고 있다.

摘 要

生長調節物質의 處理가 콩나물의 ethylene發生에 미치는 效果에 關하여 研究한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 auxin의 處理는 뚜렷한 影響이 보이지 않았다.
2. 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 cytokinin 및 類似物質의 處理效果는 BA가 ethylene 發生을 크게 促進시킨 反面 kinetin, zeatin, zeatin riboside는 微微하였다.
3. 콩나물의 ethylene 發生에 미치는 BA 濃度別 處理效果는 濃도가 높을 수록 ethylene 發生이 增加 되었다.
4. BA의 處理는 短期間內 ethylene 發生을 增加시켜서 伸長抑制와 肥大促進 效果를 보이나 4 PU-30은 ethylene 發生을 持續的으로 增大시키는 效果를 보였다.
5. 生長調節物質이 處理된 콩나물에서의 ethylene 發生程度는 BA 25 ppm > IAA 25 + BA 25 ppm ≥ 4 PU-30 25 ppm > IAA 25 ppm > control 順이었다.
6. 콩나물의 細根發生은 cytokinin 中 BA에 依해 抑制되며, 肥大促進은 ethylene에 의해 促進되는데, BA는 ethylene 發生을 크게 促進시켰다.

引用 文 獻

1. 青木陸夫·沼田邦雄·宮尾茂雄. 1980. もやし製造における省資源化に関する研究. 東京都労働經濟局商工部. 東京都農業試驗場 pp.1-15.
2. 裴孝元·劉太鍾. 1967. 大豆 發芽中の 各器官蛋白質 및 子葉 RNA 變動에 관한 研究. 農化學會誌 8 : 81-86.
3. Böttger, M. 1974. Apical dominance in roots of *Pisum sativum* L. *Planta* 121 : 253-261.
4. Chang, D.C.N. and S.J. Chen. 1985. Response of etiolated mungbean sprouts to plant hormones. *International seminar on plant growth regulators*.
5. 張建型·尹英姬. 1962. 콩나물栽培에 관한 研究. 콩나물의 成長과 Ascorbic acid 生成에 對한 Gibberellin과 MnCl₂의 影響. 技術研究報告(陸技) 1 : 28-33.
6. 張建型·尹英姬. 1963. 콩나물栽培에 관한 研究. 콩나물의 成長에 따른 一般成分 및 Riboflavin의 變化技術研究報告(陸技) 2 : 16-18.
7. 崔春彥·金正熙·宋佖淳·李泰寧. 1959. 大豆發芽中 vitamin의 消長에 關하여 (第1報). Vitamin B₁ 및 B₂의 生成에 關하여. 科研彙報 4 : 181-183.
8. 鄭松姬. 1983. 콩나물과 숙주나물의 栽培 및 몇가지 生長調節物質 處理效果. 慶熙大學校大學院 碩士學位論文.
9. Fuchs, Y. and M. Lieberman. 1968. Effect of kinetin, IAA and gibberellin on ethylene productions and their interaction in growth of seedlings. *Plant Physiol.* 43 : 2029-2036.
10. Goldacre, P.L. 1959. Potentiation of lateral root induction by root initials in isolated flax roots. *Australian J. Bio. Sci.* 12(4) : 387-398.
11. Imaseki, H., K. Kondo and A. Watanabe. 1975. Mechanism of cytokinin action on auxin-induced ethylene production. *Plant & Cell Physiol.* 16 : 777-787.
12. 姜忠吉. 1988. 生長調節物質 處理가 콩나물의 生育 및 細根發生에 미치는 影響. 慶熙大學校博士學位論文.
13. 姜忠吉·李政明·坂齊. 1989. 生長調節物質 處理가 콩나물의 生育 및 細根發生에 미치는 影響 I. 生長調節物質의 單用 및 混用處理가 콩나물의 生育에 미치는 效果. 韓國雜草學會誌(印刷中).
14. Ke, L.S., D.C.N. Chang and Y.B. Yu. 1983. Effect of endogenous ethylene and carbon dioxide production on the growth of 2,4-D treated etiolated mungbean sprouts. *J. Agric. Assc. China, New Series* 122 : 72-78(in Chinese).
15. 金銅淵. 1963. 콩나물의 成長 및 成分에 미치는 Gibberellin, Urea 및 Sucrose의 影響. 韓國農化學會誌 4 : 29-32.
16. 金鍾浩·오영은. 1981. Acetic acid 誘導體에 依한 生長에 關한 研究. 趙永植博士 回甲記念論文集(慶熙大學校) pp.669-674.
17. Lau, O.L. and S.F. Yang. 1974. Synergistic effect of calcium and kinetin on ethylene production by the mungbean hypocotyl. *Planta* 118 : 1-6.

18. Lau, O.L. and S.F. Yang. 1975. Interaction of kinetin and calcium in relation to their effect on stimulation of ethylene production. *Plant Physiol.* 55 : 738-740.
19. 李聖圭·김인숙. 1980. 植物生長調節物質을 이용한 콩나물의 改良方法, 韓國科學技術研究報.
20. 李泰寧·崔基柱·徐暻河. 1957. 豆芽芽에 關한 食品化學的 研究. 大豆發芽中에 있어서의 Riboflavin의 生成. 科研彙報 2 : 74-77.
21. 盧榮哉. 1963. 콩나물의 炭水化物에 關한 研究. 釜山大學論文集 4 : 217-223.
22. Palni, L.M.S., Palmer M.V. and Letham D.S. 1984. The stability and biological activity of cytokinin metabolites in soybean callus tissue. *Planta* 160 : 242-249.
23. Poller, T. and H. Kende. 1980. Regulation of wound ethylene synthesis in plants. *Nature* 286 : 259-260.
24. Schlagnhauer, C., R.N. Arteca and J.H. Yopp. 1984. A brassinosteroid-cytokinin interaction on ethylene production by etiolated mungbean segments. *Physiol. Plant.* 60 : 347-350.
25. Short, K.C. and John G. Torrey. 1972. Cytokinins in seedling roots of pea. *Plant Physiol.* 49 : 155-160.
26. Suttle, J.C. 1986. Cytokinin-induced ethylene biosynthesis in nonsenescent cotton leaves. *Plant Physiol.* 82 : 930-935.
27. Tong, Z., H.P. Lian, Y.R. Song, G.O. Tao, H.Y. Chen, C. Tsui 1981. The relation-ship between the effects of cytokinin on the expansion and metabolism of excised cucumber *cucumis-sativus* cultivar Jin-Ian-No-4 cotyledons NAD water stress. *ACTA Bot. SIN.* 22(4) : 360-364.
28. Torrey, J.G. 1956. Chemical factors limiting lateral root formation in isolated pea roots. *Physiol. Plant.* 9 : 370-388.
29. Torrey, J.G. 1959. A chemical inhibitor of auxin-induced lateral root initiation in root of *Pisum*. *Physiol. Plant* 12 : 873-887.
30. Torrey, J.G. 1962. Auxin and purine interactions in lateral root initiation in isolated pea root segments. *Physiol. Plant.* 15 : 177-185.
31. Weightman, F. and K.V. Thimann. 1976. Hormonal regulation of lateral root initiation in *Pisum sativum*. *Plant Physiol.* 57 Suppl. 52.
32. Weightman, F. and K.V. Thimann. 1980. Hormonal factors controlling the initiation and development of lateral roots. I. Sources of primordia-inducing substances in the primary root of pea seedlings. *Physiol. Plant.* 49 : 13-20.
33. Weightman, F., E.A. Schnider and K.V. Thimann. 1980. Hormonal factors controlling the initiation and development of lateral roots. II. Effect of exogenous growth factors on lateral root formation in pea roots. *Physiol. Plant.* 49 : 304-314.
34. 陽明淑·崔春彥. 1963. 콩나물 調理中 Riboflavin의 變動. 技術研究報告(陸技) 2 : 51-52.
35. Yang, S.F. 1986. Regulation of plant growth by ethylene and related regulators. *Food & Fertilizer Technology Center* pp.1-9.