氣候變遷對農作物生產之影響
第10章　二氧化碳、氣溫及紫外線升高對作物
生育及產量之影響　151-160, 1998

第十章　二氧化碳、氣溫及紫外線升高對作物生育及產量之影響

翁　仁　憲
國立中興大學植物學系

摘要……152
壹、前言……152
貳、二氧化碳倍增及氣溫升高對農作物生產之影響……153
參、紫外線對作物生育及產量之影響……155
肆、結語……156
伍、引用文獻……157
英文摘要……160

第十章　二氧化碳、氣溫及紫外線升高對作物生育及產量之影響

翁　仁　憲
國立中興大學植物學系

摘　　要

近年來，CO_2及CH_4等會發生溫室效應及其他足以破壞臭氧層的氣體排放量增加，使得地球氣候發生變化，紫外線增加。由於CO_2是光合作用的原料，故提高CO_2濃度有助於增加光合速率，一般結果指出，提高CO_2對提升作物乾物質累積及產量之效果以C_4型較小，C_3型較大，具有固氮能力的豆科作物之效果更大。但是高CO_2濃度尚會影響代謝、氣孔開度與密度、葉面積及其他性狀，故高CO_2之效果隨實驗條件而異，結果也很分歧。如缺水、缺氮或葉片互相遮蔽時，都會降低CO_2增加對作物之增產效果，而且不同溫度下CO_2增加之效果亦不相同。近幾年在水稻之試驗結果顯示，群落狀態下，單純CO_2倍增時，水稻生物量之增加率為24～40%間，稻穀增產率則為15～40%間，增產之原因多是穗數及稔實率增加所致，唯溫度增加時，對生物量沒有大影響，但稻穀產量則會因為稔實率降低而抵消了CO_2倍增之效果。至於紫外線(UV-B)，現有結果已知其可影響多種植物之生理作用，而作物之葉綠素含量、葉分化、乾鮮重及產量均會受到影響。唯紫外線對水稻影響之結果也很分歧，需要更多的研究來說明。而且現已發現不同的品種間對UV-B有不同的抗性。對二氧化碳、氣溫及紫外線升高因應之道，除了可嘗試選育品種外，或可嘗試改善栽培法及改變栽植時期。

關鍵詞：高CO_2，高溫，紫外線，作物，生育，產量。

壹、前言

近年來，由於人口增加、工業化及森林破壞的影響，使得CO_2及CH_4等會發生溫室效應及其他足以破壞臭氧層的氣體排放量增加，使得地球氣候發生變化，影響到植物生長及作物生產，此外CO_2濃度及紫外線之增加也會直接影響植物之生長。

根據Watson等(1990)、Lashof及Tirpak (1989)，地球大氣CO_2濃度由工業革命前的280 ppm迅速上升至目前的360 ppm，估計到21世紀會倍增到700 ppm左右。由於大氣中CO_2及其他溫室氣體之增加，使得地球溫暖化。據Adams等(1990)及Watson等(1990)，CO_2倍增結果，將使地球氣溫上升3～5.5℃，其中熱帶地區上升較少，高緯度則上升較多。由於氣溫上升會連帶引起雨量及溼度之變化，從模式預估在CO_2倍增時，東南亞之氣溫約增加1～2 ℃，降雨量在冬季增加0～15%，夏季增加5～15%，土壤溼度在冬季減少0～5%，夏季增加1～5 % (耿及楊，1996)。

在台灣，據中央氣象局資料，台灣氣溫

自1897年有紀錄以來至1920年間是低溫期，此後溫度即逐漸上升，到如今已升高了1℃。而降雨量之變化則因地點而異，而相對溼度在近30年來，除高山及離島外，普遍下降了2～5%。由於氣溫升高及相對溼度下降，當然會使蒸發量增加而導致缺水。根據中央氣象局半經驗式主觀的推測，2050年溫室效應氣體增加後，台灣的氣溫約較1990年增加約1℃。

針對氣候變遷對作物之影響，各先進國在多年前已開始研究，以下就CO_2倍增，氣溫升高及紫外線對作物之影響加以說明。

貳、二氧化碳倍增及氣溫升高對農作物生產之影響

一、一般

根據最近之論述文章(蔣等, 1997; Chaves and Pereira , 1992 ; Lawlor and Mitchell Afrc, 1991; Saralabai *et al.,* 1997），最近十餘年來，關於CO_2濃度升高對植物影響之文章就達數千篇之多。綜合其結果，大致是由於CO_2是光合作用的原料，故提高CO_2濃度是可以增加光合速率，而且對C_3型植物而言，CO_2又可抑制光呼吸之消耗，所以大多數結果均顯示高CO_2濃度對C_3型植物之光合作用及乾物質之累積有利。由於CO_2會抑制暗呼吸作用，在高CO_2濃度下氣孔開度又會降低，益使植物體內CO_2濃度升高，故在某些植物之呼吸作用會降低，但某些植物則否。此外，CO_2長期處理也會減少葉片之氣孔密度，如此會抑制蒸散速率，雖然可提高水分利用效率，但是蒸散量降低，會促使葉片溫度升高，加上高CO_2下，因溫室效應，氣溫會升高，故高溫將會助長暗呼吸及光呼吸之消耗。如果是C_3型作物，在葉片溫度超過一定溫度(台灣平地作物約在30℃，翁, 1989)時尚會抑制光合作用，所以高CO_2引起之溫度升高，氣孔關閉以及因氣孔關閉引起之葉溫升高將不利於植物之同化作用。此外，提高CO_2濃度尚能使作物的葉面積增加，有利於生產。唯高CO_2會使氣溫升高、溼度降低而導致缺水，不但會直接影響光合作用，又會使得氣孔關閉，葉溫上升(Lawlor and Mitchell Afrc , 1991)，影響光合作用及呼吸作用。此外，因光合作用上升，光合產物增加，若光合產物來不及轉運也會抑制光合作用。另一方面，高CO_2濃度下也會促進植物根系的生長、酵素活性改變及開花期提早等。

據Lawlor及Mitchell Afrc (1991)之綜合論述中指出，有關高CO_2試驗之中，在田間進行試驗者只佔小部份。一般結果顯示，提高CO_2對提高作物乾物質累積及產量之效果以C_3型作物較大，C_4型作物較小，此乃C_4型作物具有CO_2濃縮迴路，不但能利用低濃度的CO_2，又能避免光呼吸之消耗所致。在CO_2濃度增加時，無論C_3型或C_4型，其氣孔開度均會受到抑制，此外，多篇論文(Arono, 1990; Norsy,1987)也指出，具有固氮能力的豆科作物對CO_2倍增之增產效果比較大。Lawlor及Mitchell Afrc (1991)又發現，高CO_2之田間試驗不但數量較少，結果也很分歧。如在棉花，由於不同試驗，其產量增加幅度在87～209%之間，大豆則在7～78%間，甘藷在45～83%間，水稻在6～73%間，造成結果如此分歧之原因，乃是因為田間環境不同所致。例如Rogers等(1986)指出，在缺水環境下，CO_2倍增對作物之增產效果比未缺水之情況下大，而且不同溫度下，CO_2倍增之效果亦不相同，如Idso等(1987)從蘿蔔、胡蘿蔔、棉花及其他兩種水生植物之資料中分析得知，在19℃時，CO_2倍增之增產效果為0%，但在32℃則為100%。Kirschbaum (1994)亦以模式分析指出，C_3型作物在5℃、350 ppm CO_2下之光合速率就達到CO_2濃度無限制時之77%，但在35℃時只達51%，可見在高溫下，CO_2倍增之增產效果較佳。此外，在缺氮情況下，會抑制CO_2倍增之增產效果，這也是CO_2倍增對具有固氮能力的豆科作物之增產效果較佳之原因。

二、水稻

在台灣，水稻及蔬菜為目前之最主要作物，但相對於大豆等作物，其氣候變遷研究結果尚屬少數(Lawlor and Mitchell Afrc, 1991)，在水稻方面, 據Baker等(1989)、Imai等(1985)、Kimball (1983)、Ziska及Teramura (1992)之資料顯示，CO_2倍增時，水稻之增產率分別為23～72%，13～39%，6～58%，32～73%造成這些差異之原因可能為溫度、施肥量、光環境、栽培法及品種等不同所致。

Imai等(1985)以盆植水稻為對象，在晝、夜溫分別為28及21℃ (28/21℃) 下，CO_2倍增時，其生物量之增率為16%，在33/26℃下，則可達51%。但Baker等(1990)以群落狀態之水稻為對象之結果則顯示，CO_2倍增時，28/21℃ (平均24.1℃)之生物量增產率為8.2%，28/21℃ (平均25.1℃)則因期作之不同而有15~37%之增產率, 31/31℃時則有29~36% , 34/27℃時亦有12.5%之增產率。以上結果均顯示，CO_2倍增時，在高溫下群落狀態之增產效果較低溫佳，唯群落狀態之效果則較盆植為差，其原因為高CO_2能增大葉面積，在群落狀態下葉片容易互相遮蔽所致。Kim等 (1996d)以群落狀態的水稻為對象，同時探討CO_2濃度倍增及溫度(25~31℃)對其生育及產量之影響，結果發現，CO_2倍增時能提早抽穗(此點Imai等(1985)亦有提及)，而且在高溫下之促進率較大，在30℃時促進11%。而且CO_2倍增及高溫時，可增加水稻之分蘖數及穗數，對LAI(葉面積指數)之促進則只限於營養生長初期，而且溫度對LAI之影響不大。至於乾物質累積量之影響則是CO_2倍增可促進24%，但溫度影響則很小。此點與Baker等(1990)之結果相近，唯Imai等(1985)、Ziska及Teramura(1992a)之結果則顯示，CO_2倍增對水稻乾物質累積速率之促進是隨溫度增加(24~31 ℃)而增加。造成此差異之原因，Kim等人(1996)認為是因為水稻種植方式不同所致。Baker等(1990)及Kim等 (1996a)係以群落狀態之水稻為材料，高溫能促進分蘖而使群落內光環境劣化而抵消了其乾物質累積能力。而Imai等(1985)、Ziska及Teramura (1992)則是以孤立狀態之水稻為研究對象，不易互相遮蔽所致。

Kim等(1996e)再探討CO_2倍增及高溫對粳稻產量之影響，結果指出，在26~27.5℃之情況下，CO_2倍增時之稻穀增產效率為22及40％(施氮量為12 g m^{-2}及24 g m^{-2})產量增加主要係歸因於穗數及每穗粒數之增加，稔實率及千粒重之影響則較小。另一方面，溫度增加時，CO_2倍增對水稻產量之促進效果則漸減，其原因為高溫造成不稔所致。

Morokuma等(1996)以400 ppm及660 ppm CO_2處理粳稻群落，在溫度方面，400 ppm CO_2區係控制在與外氣相同之溫度(全生育期之平均溫度為26℃)；660 ppm CO_2區則較外氣高2℃，結果發現到最高分蘖期為止。高CO_2、高溫區之葉面積與株高均較高，但到抽穗期則無差異，抽穗日期也無差異。在乾物質累積方面，到抽穗期為止，高CO_2、高溫可高出30%，到收穫期全乾物量與產量則分別只高出6%及7%，尚未達顯著水準。產量構成要素之中，高CO_2、高溫區之稔實率降低了17%，其他則無差異，造成稔實率之下降應該是高溫所致。Ziska等(1997)在菲律賓以籼稻IR72為材料，同時探討高CO_2及高溫(較氣溫高4℃)對其生長及產量之影響，結果發現，在生長初期也發現CO_2倍增能促進葉面積之增加，但在抽穗期及成熟期則無差異。在CO_2增加200 ppm及增加300 ppm時，水稻成熟期總乾物重各增加了31%及40%，此增加率在乾、濕季均相同，高溫之影響也不顯著。此外，CO_2增加200 ppm及300 ppm下，稻穀產量乾濕季平均可各增加15及27%，增產的原因為穗數及稔實率兩項均增加所致，但在高溫下，增加CO_2便失去增產之效果，同時也發現高溫下稔實率大為降低。而且高溫、高CO_2會

導致米質(例如蛋白質含量)變劣。

由以上幾篇研究報告可看出，在群落狀態下，單純CO_2倍增時，水稻之生物量及稻穀產量均會增加，其增加率隨試驗地區、品種及栽培法(如施氮量)而有差異，其中生物量之增加率為24～40%間，稻穀增產率則為15～40%間，增產之原因多是穗數及稔實率增加所致。唯溫度增加時，對生物量沒有大影響，生物量之增加率與單獨CO_2倍增時無異，但稻穀產量則會因為稔實率降低而抵消了CO_2倍增之效果。此外值得注意的是，這幾篇水稻報告都是以外界氣溫做參考值，再自動控制試驗區之溫度，因此保有了接近自然的日夜溫差及季節溫度之變化。至於對於水稻在高溫下稔實率降低因應之道，除了可嘗試選育在高溫下稔實良好之品種外，或可嘗試改變栽植時期，避免在高溫季節稔實。

三、蔬菜

高CO_2對蔬菜生產方面，在早期即有許多人嘗試在設施內施用CO_2以提高其產量，而且達到實用化階段。在葉菜類及根菜類方面，因為只需營養生長，故提高CO_2濃度大都能促進其生長(石井，1972)，而且促進率也與光環境有關(吉岡等，1990)。高CO_2亦會促使蔬菜氣孔開度減小，使葉溫升高(吉岡等，1990)，加上氣溫因溫室效應而上升，台灣有許多蔬菜喜好較冷涼的氣候，而且多種夏季蔬菜之生長適溫均在25℃左右(翁等, 1995; 林等, 1995; Weng, 1997; 利等, 1998)，故高溫對蔬菜生長之抑制不能忽視。此外，高CO_2尚會影響蔬菜品質，也需要探討(吉岡等，1990)。

影響植物耐熱性之因子很多，如在高溫下呼吸速率較小者，可以減少呼吸消耗，有利於其乾物質之累積 (Taiz and Zeiger, 1991; 翁, 1989)。在型態上，葉面積比 (LAR) 較大者，因其單位植物體重內可進行光合作用之葉面積較大，故單位葉面積所負擔之體重較小，相對的減少呼吸消耗 (翁, 1989; 1992) 。此外，較小的葉片較有利於散熱 (Taiz and Zeiger, 1991)，而氣孔阻抗較小 (氣孔較密或開度較大) 者，不但有利於光合作用，也有利於以葉面蒸散來降溫 (Taiz and Zeiger, 1991; 翁, 1994; 1996)。另一方面，在高溫下能維持其膜之穩定性也是耐熱之必要條件(Taiz and Zeiger, 1991)。

翁(1989, 1992) 探討不同耐熱性之番茄、甘藍及白菜品種之光合作用及呼吸作用時發現，各菜種之光合作用適溫均在30℃附近，並無大差異。唯品種間暗呼吸之差異很大。較耐熱之甘藍及番茄品種(系) ，均有較低之暗呼吸率。唯具有耐熱性之鳳山白菜，其光合速率不高，呼吸速率也不低，其較耐熱之原因可能為其葉面積比(LAR) 較大所致。由於在結球或抽苔(如花椰菜) 後，LAR會大幅下降，此亦可能為結球(或抽苔) 性十字花科蔬菜不易在夏季生產之原因。林等(1995)、翁等(1995)及Weng (1997) 又發現，無論土耕或水耕之鳳山白菜，其生長適溫約在25℃，夏季之高溫會抑制其生長，唯適當的降低根溫，則因可維持根之吸水機能，在高溫低濕之環境下，葉片不致失水，能維持蒸散作用。旺盛之蒸散作用即可將葉片冷卻，而維持作物之同化能力，減少呼吸消耗，使作物之生產力提高。Weng (1997)也發現，較耐熱之甕菜，其生長適溫也與鳳山白菜相近，唯其生長速率受高溫之影響程度較小。

由以上結果可知，蔬菜生產對高溫之因應，除了從菜種選擇及品種選育之外，亦可嘗試栽培管理方面之改進，如培育健全的根系，加上充足的灌溉，藉由旺盛的葉面蒸散來降溫等。

參、紫外線對作物生育及產量之影響

近年來，可能由於氮氧化物及冷媒(氟氯碳化物)溢散而破壞臭氧層，使得紫外線容易到達地面。紫外線可分為UV-C (210～280 nm)及UV-B (280～320 nm)，由於太陽光中之UV-C容易被臭氧層所吸收，故只有UV-B容易造成問題。Watson (1992)指出，

亞洲稻作地帶再過去二十年間，臭氧層減少了1~4%，臭氧層每減少1%則到達地面上的UV-B約增加2%。由於紫外線會破壞核酸及蛋白質，故其影響是多層面的，除了引起細胞發生突變及致癌外，尚會引起多種生理生化反應。此外，Teramura等(1990)，Ziska及Teramura(1992b)尚指出紫外線有降低高CO_2對作物生長促進之作用，其原因有一部分可能是因為紫外線會造成氣孔開度及密度減少(Dai *et al.*, 1992; Dai *et al.*, 1995; Stephanie *et al.*, 1996)及光合作用之速率低下(Dai *et al.*, 1992; Teramura and Sullivan, 1994)。

至於UV-B對作物生育及產量的影響，現以水稻為例說明如下：熊谷(1994)以三葉齡之水稻幼苗，以0.46 W m^{-2}之UV-B照射後三日即發現葉片開始褐變，45天後受害嚴重的品種，在葉綠素含量、葉分化及乾鮮重均受到影響。同氏又在田間1.8 m高處，架設紫外線燈照射水稻，結果發現在生育初期葉片有褐變及抑制分蘖之現象，但隨著生育而逐漸恢復，但稔實率會逐漸降低，米粒蛋白質含量增加，食味有低下等現象。而且發現不同的品種間對UV-B有不同的抗性，甚至有些品種在低強度的UV-B下還能促進生育。在籼粳稻及aus、aman、boro.....等各種生態型內均有抗性強及弱的品種；但是發現日本水稻及boro之中有較強抗性的品種(Sato, 1993)。Dai等(1992)則認為葉面積、乾重等可作為選拔抗紫外線水稻品種之指標。

Kim等(1996b)以UV-B照射越光、水原258號及IR74等三個水稻品種，發現IR74對UV-B最敏感，水原258號之抗性較強。UV-B可使水稻之株高、葉面積、乾物質累積量減少。但是比葉重(葉重/葉面積)則只有水原258號增加，故不同水稻品種對紫外線抗性可能與其葉片變厚之程度有關。而單位葉面積及葉綠素含量則是越光與IR74減少，水原258則不變，而且水原258號單位葉面積內能吸收UV-B物質含量也會大量增加，但是單位葉重之含量則否。而晏與戴(1996)則是認為水稻對UV-B之抗性亦與其體內之活性氧清除系統活性較高，防止膜系遭受破壞有關。唯Kim等(1996c)以照射水稻品種越光，發現其抗氧化有關之酵素活性並未改變。

Dai等(1995)又發現，UV-B會造成氣孔開度及密度減少，其中對上表皮氣孔密度之影響較下表皮為大，而且對UV-B較敏感的水稻品種IR45及IR74經UV-B照射後，其氣孔開度、密度及乾重所受到之影響又較對UV-B較不敏感的水稻品種IR64及IR30為大。

Kim等(1996b)尚發現，經UV-B照射後，水原258號與IR74葉片C^{13}之含量會降低，表示UV-B對光合作用之非氣孔因子之影響較氣孔因子來得大。Kim等(1996a)再以UV-B照射越光、IR45與IR74等三個水稻品種進一步發現除了抑制株高外，尚會抑制分蘖數與穗數及產量，但C^{13}含量及UV-B之吸收物質含量則無影響，葉綠素含量則有降低之現象。唯Nouchi及Kobayashi (1995)以產於世界各地之17個水稻品種施以強度之UV-B照射結果發現，對株高、分蘖數及乾物質累積量之影響極微。葉綠素含量則雖因UV-B照射而增加，但只有三個品種達到顯著性差異。

由以上結果也可看出，紫外線對水稻影響之結果也很分歧，需要更多的研究來說明。

肆、結　　語

由以上結果可看出，在群落狀態下，單純CO_2倍增時，水稻及蔬菜之產量均會增加，其增加率隨試驗地區、品種及栽培法(如施氮量及水分管理等)而有差異，唯溫度增加時，對水稻之生物量沒有大影響，但稻穀產量則會因為稔實率降低而抵消了CO_2倍增之效果。因應之道，除了可嘗試選育在高溫下稔實良好之品種外，或可嘗試

改變栽植時期，避免在高溫季節稔實。台灣有許多蔬菜喜好較冷涼的氣候，故高溫對蔬菜生長之抑制亦不能忽視，除了從菜種選擇及品種選育之外，亦可嘗試栽培管理方面之改進，如培育健全的根系，加上充足的灌溉，藉由旺盛的葉面蒸散來降溫等。此外，高CO_2尚會影響蔬菜品質，也需要探討。至於紫外線(UV-B)，現有結果已知其可影響多種植物之生理作用，而作物之葉綠素含量、葉分化、乾鮮重及產量均會受到影響。唯紫外線對水稻影響之結果也很分歧，需要更多的研究來說明。唯現已發現不同的品種間對UV-B有不同的抗性，故可考慮從育種著手。

伍、引用文獻

石井龍一. 1972. CO_2施肥論. p. 339-347. 戶艾義次監修，作物之光合成與物質生產. 養賢堂，東京.

吉岡宏. 1990. 寡日照地區設施蔬菜之CO_2施用效果. 農業與園藝 65: 1380-1384.

利幸貞 李炳和 陳一心 劉復誠. 1998. 季節性氣象因子變化對葉用甘藷生育量之影響. 中華農業氣象(印刷中)

林孟輝 許苑培 張學琨. 1995. 氣象因子對桃園地區小白菜生育之影響. 中華農業氣象 2:121-128.

耿旭 楊之遠. 1996. 全球氣候變遷對農業生產影響之評估. 中華農學會報 新174: 1-11.

翁仁憲. 1989. 溫度對蔬菜光合作用及呼吸作用之影響. 第二屆設施園藝研討會專集。p.209-217. 中國園藝學會.

翁仁憲. 1992. C_3及C_4型葉類之CO_2交換特性光及氮之影響. 中華農學會報 新157: 22-33.

翁仁憲 郭孚燿. 1993. 作物對高溫之適應性. 中日農業氣象應用研討會論文專輯. p. 13-28. 中華農業氣象學會.

翁仁憲. 1994. 玻璃溫室微氣候對水耕蔬菜生育之影響. 中華農業氣象 1:35-39.

翁仁憲等. 1996. 氣象因子對不同地區小白菜生育之影響. 農業氣象、空氣汙染與酸雨對農業生產影響及因應研討會論文專輯. p.277-285. 農試所.

翁仁憲. 1996. 作物之光合、呼吸及蒸散作用與其環境適應性之關係. 中華農業氣象 3: 1-7.

蔣高明 韓興國 林光輝. 1997. 大氣CO_2濃度升高對植物的直接影響. 植物生態學報 21:489-502.

晏斌 戴秋杰. 1996. 紫外線B對水稻葉組織中活性氧代謝及膜系統的影響. 植物生理學報22:373-378.

Adams, R. M., C. Rosenzweig, R. M. Peart, J. T. Ritchie, B. A. McCarl and J. D. Glyer 1990. Global climate change and U.S. agriculture. Nature (London) 345:219-224.

Arnone, J. A. III and J. C. Gordon. 1990. Effect of nodulation, nitrogen fixation and CO_2 enrichment on the physiology, growth and dry mass allocation of seedlings of Alnus rubra Bong. New Phytol. 116: 55-66.

Baker, J. T., Jr. Allen, K. J. Boote, A. J. Rowl, J. W. Bamford, P. H. Jones and G. Bowes. 1990. Temperature effects on rice at elevated CO_2 concentration. p.1-70. 1989. Progress Report. Joint Program of DOE and USDA. University of Florida, Gaine- sville.

Dai, Q., V. P. Coronel, B. S. Vergara, P. W. Barnes and A. T. Quintos. 1992. Ultraviolet-B radiation effects on growth and physiology of four rice cultivars. Crop Sci. 32: 1269-1274.

Dai, Q., S. Peng, A. Chavez and B. Vergara. 1995. Effects of UVB radiation on stomatal density and opening in rice (*Oryza sativa* L.). Ann. Bot. 76: 65-70.

Idso, S. B., B. A. Kimball, M. G. Anderson and

J. R. Mauncy. 1987. Effects of atmospheric CO_2 enrichment on plant growth: the interactive role of air temperature. Agric. Ecosystem and Environ. 20: 1-10.

Imai, K., D. F. Coleman and T. Yanagisawa. 1985. Increase in atmospheric partial pressure of carbon dioxide and growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Jpn. J. Crop Sci. 54: 413-418.

Kim, H. Y., K. Kobayashi, I. Nouchi and T. Yoneyama. 1996a. Enhanced UV-B radiation has little effect on growth, δ ^{13}C values and pigments of pot-grown rice (*Oryza sativa*) in the field. Physiol. Plant. 96: 1-5.

Kim, H. Y., K. Kobayashi, I. Nouchi and T. Yoneyama. 1996b. Effects of UV-B radiation on growth, δ ^{13}C values and pigments of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Environ. Sci. 9: 45-53.

Kim, H. Y., K. Kobayashi, I. Nouchi and T. Yoneyama. 1996c. Change in antioxidants levels and activities of related enzymes in rice (*Oryza sativa* L.) leaves irradiated with enhanced UV-B Radiation under field conditions . Environ. Sci. 9: 73-78.

Kim, H. Y., T. Horie, H. Nakagawa and K. Wada. 1996d. Effects of elevated CO_2 concentration and high temperature on growth and yield of rice. I. The effect on development, dry matter production and some growth characteristics. Jpn. J. Crop Sci. 65: 634-643.

Kim, H. Y., T. Horie, H. Nakagawa and K. Wada. 1996e. Effects of elevated CO_2 concentration and high temperature on growth and yield of rice. II. The effect on yield and its components of Akihikari rice. Jpn. J. Crop Sci. 65: 644-651.

Kimball, B. A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. Agron. J. 75: 779-788.

Kirschbaum, M. U. F. 1994. The sensitivity of C_3 photosynthesis to increasing CO_2 concentration: a theoretical analysis of its dependence on temperature and background CO_2 concentration. Plant, Cell and Environ. 17: 747-754.

Kumagai ,T. 1994. Effect of UV-B radiation on growth of rice. KASEAA 32: 506-513.

Lashof, D. A. and D. Tirpak. 1989. Policy options for stabilising global climate. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.

Lawlor D. W. and R. A. C. Mitchell Afrc. 1991. The effects of increasing CO_2 on crop photosynthesis and productivity: a review of field studies. Cell and Environment. 14: 807-818.

Morokuma, M., M. Yajima and S. Yonemura. 1996. Effects of elevated CO_2 concentration and warming on growth and yield of rice. Jpn. J. Crop Sci. 65: 222-228.

Norby, R. J. 1987. Nodulation and nitrogenase activity in nitrogen-fixing woody plants stimulated by CO_2 enrichment of the atmosphere. Physiol. Plant. 71: 77-82.

Nouchi, I. and K. Kobayashi. 1995. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation with a modulated lamp control system on growth of 17 rice cultivars in the field. J. Agric. Meteorol. 51: 11-20.

Owensby, C. E., P. I. Coyne , J. M. Ham, L. M. Auen and A. K. Knapp.1993. Biomass production in a tallgrass prairie ecosystem exposed to ambient and elevated CO_2. Ecol. Appl. 3: 644-653.

Rogers, H. H., J. D. Cure and J. M. Smith.

1986. Soybean growth and yield response to elevated carbon dioxide. Agric. Ecosystems and Environ. 16: 113- 128.

Saralabai ,V. C., M. Vivekanandan and R. Suresh Babu. 1997. Plant responses to high CO_2 concentration in the atmosphere. Photosynthetica 33:7-37.

Sato, T. and T. Kumagai.1993. Cultivar differences in resistance to inhibitory effects of near-UV radiation among Asian ecotype and Japanese lowland and upland cultivars of rice. Japan J. Breed. 43:61-68.

Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant physiology. p.219-291, p.241, p.249-256, p.346-362. Benjamin/Cummings publishing Co. Inc., New York.

Teramura, A. H. and J. H. Sullivan. 1994. Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants. Photosynth. Res. 39: 463-473.

Teramura, A. H., J. H. Sullivan, and L. H. Ziska.1990. Interaction of elevated ultraviolet-B radiation and CO_2 on productivity and photosynthetic characteristics in wheat, rice, and soybean. Plant Physiol. 94: 470-475.

Wand, S. J. E., G. F. Midgley and C. F. Musil.1996. Physiological and growth responses of two African species, Acacia karroo and Themeda triandra, to combined increases in CO_2 and UV-B radiation. Physiol. Plant. 98: 882-890.

Watson, R.T., H. Rodhe, H. Oescheger and U. Siegenthaler. 1990. Greenhouse gases and aerosols. pp. 1-40. In J. T. Hougton et al. (ed.) Climate change: The IPCC scientific assessment. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Weng, J. H. 1997. Effects of micro-climate in glasshouse and root temperature on growth of hydroponic vegetables. J. Agric. Meterol. 52: 857-862.

Ziska, L. H. and A. H. Teramura. 1992a. Intraspecific variation in the response of rice (*Oryza sativa*) to increased CO_2-photosynthetic, biomass and reproductive characteristics. Physiol. Plant. 84 :269-276.

Ziska, L. H. and A. H. Teramura. 1992b. CO_2 enhancement of growth and photosynthesis in rice (*Oryza sativa*). Modification by increased ultraviolet-B radiation. Plant Physiol. 99: 473-481.

Ziska, L. H. and J. A. Bunce 1995. Growth and photosynthetic response of three soybean cultivars to simultaneous increases in growth temperature and CO_2. Physiol. Plant. 94: 575-584.

Ziska, L. H., O. Namuco, T. Moya and J. Quilang. 1997. Growth and yield response of field-grown tropical rice to increasing carbon dioxide and air temperature. Agron. J. 89: 45-53.

Chapter 10 The Effects of CO_2 Enrichment, High Temperature and Ultraviolet on Growth and Yield of Crops

Jen-Hsien Weng
Department of Botany, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC

Abstract

The effects of CO_2 enrichment (EC), high temperature (HT) and ultraviolet on photosynthesis, biomass production and yield of crops are reviewed. Although many characteristics, such as metabolism, leaf area index, stomatal frequency and conductance, transpiration, etc., would be influenced by EC, HT and other conditions, the results are very variable due to the varied conditions in the field and greenhouse. In recent years, some experiments combined EC and HT in rice were investigated. The results indicated that the biomass production was markedly promoted by EC, and negligibly small affected by HT. On the contrary, the grain yield was 15-40% higher in EC with low temperature, but remarkably reduced due to the high temperature induced sterility. Numerous studies have shown that ultraviolet-B (UV-B) can damage biologically important molecules in plants and has adverse effects on plants growth and yield. Growth and yield of rice was affected by UV-B and varied among cultivars. However, the results are variable among experiments. It requires more experiments carrying out under various climatic and solar UV-B regimes.

Keywords: CO_2 enrichment, High temperature, Ultraviolet, Crop, Growth and development, Yield.