

紧实胁迫对土壤呼吸强度及黄瓜生长和品质的影响^{*}

孙 艳^{1,2} 王益权² 徐伟君¹ 蒲亚锋¹ 吴 英²

(1 西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

(2 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要 用容重为 1.2 和 1.5 g cm⁻³ 的土壤进行盆栽试验, 研究了紧实胁迫对土壤剖面各层中呼吸强度及 CO₂ 浓度的影响, 调查了黄瓜植株及果实品质对土壤紧实胁迫的反应。结果表明: 紧实土壤 (高容重) 土面下 CO₂ 浓度及呼吸强度均大于疏松土壤 (低容重)。紧实土壤中黄瓜根系伸长生长受到抑制, 根系重量显著减小, 根冠比 (地下部干重/地上部干重) 降低; 地上部的鲜重及干重也减小, 但干物质含量却有一定程度增加; 展开的叶片数减小, 黄叶数增加, 植株衰老提早。果实增大速度受到抑制, 糖、酸比大幅度下降, 风味变差。

关键词 紧实胁迫; 容重; 土壤呼吸强度; 黄瓜

中图分类号 S152.5 S642.2 文献标识码 A

土壤呼吸是指土壤向大气排放 CO₂ 的过程, 是陆地生态系统中碳循环的一个重要组成部分, 是土壤有机碳输出的主要形式, 土壤呼吸包括土壤微生物呼吸、土壤动物呼吸、植物根系呼吸和土壤中含碳物质化学氧化等生物学和非生物学过程。其中, 土壤微生物呼吸和根系呼吸所排放的 CO₂ 占土壤呼吸总量的绝大部分。土壤呼吸是衡量土壤透气性的重要指标, 也是反映土壤系统对环境胁迫响应的重要指标。对土壤呼吸的研究国内已有较多的报道, 主要集中在森林土壤、草原生态系统土壤及农田土壤 CO₂ 释放规律及其影响因子方面^[1~4], 而对菜田土壤 (包括设施土壤) CO₂ 释放状况的研究鲜见报道, 对不同土壤类型中 CO₂ 释放状况及作物反应之间的联系缺乏研究。随着设施栽培的迅猛发展, 设施土壤质量状况备受关注。设施栽培中, 随着种植时间的延长, 土壤质量显著下降, 表现为紧实度增大, 透气性变差^[5]。土壤质量下降的结果使作物生长发育迟缓、产量和品质下降, 果实风味变差^[6]。关于紧实胁迫对土壤呼吸的影响研究少有报道。本试验对紧实胁迫条件下土壤的呼吸状况及黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 的反应进行了研究, 旨在探索紧实胁迫对作物影响的机理, 并为设施土壤质量的改良提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2006 年 4 月 ~ 9 月在西北农林科技大学园艺试验场进行。盆栽用土取自试验地的表土 (土), 有机质含量 9.76 g kg⁻¹, 全氮含量 1.24 g kg⁻¹, 速效钾含量 179 mg kg⁻¹, 速效磷含量 50.0 mg kg⁻¹, 物理性黏粒含量 460 g kg⁻¹。经风干过筛后 (风干土含水量为 4.02%) 每 kg 土混施尿素 0.5 g 过磷酸钙 (含 P₂O₅ 16%) 0.67 g。土壤的紧实程度用容重表示。当地表层土壤在常态耕作条件下的容重约为 1.2 g cm⁻³, 温室土壤连作 4~5 a 后的容重约为 1.5~1.6 g cm⁻³ (根据不同棚龄土壤容重的实际测定结果)。试验设置两个容重处理, 为 1.2 和 1.5 g cm⁻³, 分别用 R1.2 和 R1.5 表示。各处理 5 次重复, 两处理所用盆钵的大小及土体的体积相同, 但土壤重量不同。根据土壤容重、盆钵体积及土壤含水量计算出每个处理所需的土壤量, 并装盆。装 R1.5 处理时, 用木夯捶击, 使土壤紧实。盆子大小为 21 cm × 24.5 cm, 每盆装土至盆沿 4.5 cm 处。每盆栽黄瓜 1 株, 品种为津杂 2 号。5 月 3 日定植, 8 月 31 日拉秧。盆钵放置在玻璃房内以防淋雨。黄瓜生长期间的水分管理采用北京澳作生态

* 陕西省自然科学基金项目 (2005C103) 资助

作者简介: 孙 艳 (1964~), 女, 汉族, 陕西泾阳人, 博士, 主要从事蔬菜生理生态研究

收稿日期: 2007-03-26; 收到修改稿日期: 2007-08-29

仪器有限公司生产的 TR ME-T3型 TDR 仪 (时域反射仪) 控制。

装盆时, 在两个处理每盆土壤表面 (A)、土面下 5 cm (B) 及 15 cm (C) 处分别放置 CO_2 收集器 (CO_2 收集器由口径为 5 cm 或 6 cm 的玻璃漏斗、尼龙沙网、橡胶软管及固定夹构成, 如图 1 所示), 并用软管将其与加塞三角瓶相连, 表面的漏斗距主茎 2 cm、口径 6 cm, 其余漏斗的口径 5 cm。三角瓶内装有过量的 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaOH}$ 溶液, 以吸收土壤中产生的 CO_2 。两个容重处理各层分别用代号表示为: 土面, R1.2 A 和 R1.5 A; 土面下 5 cm 处, R1.2 B 和 R1.5 B; 土面下 15 cm 处, R1.2 C 和 R1.5 C。

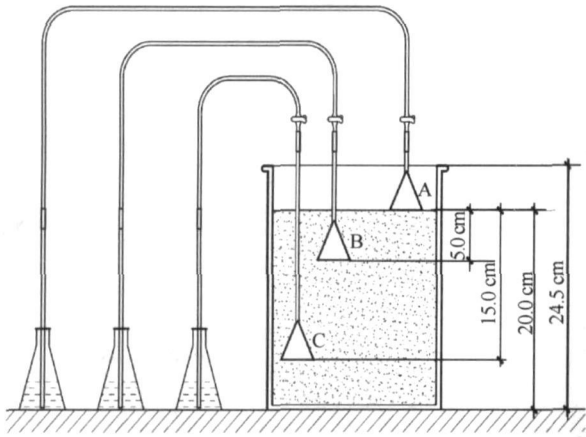


图 1 CO_2 收集及吸收示意图

Fig 1 Diagram of CO_2 collection and absorption

1.2 测定项目及方法

1.2.1 CO_2 浓度的测定 黄瓜秧苗定植后第 20 天 (5 月 23 日, 晴天) 和第 41 天 (6 月 14 日, 晴天) 分别用北京市华云分析仪器研究所生产的 GXH-3010E 型便携式红外线分析仪测定 CO_2 浓度的日变化。

1.2.2 土壤呼吸强度的测定 土壤呼吸强度测定的时间段为黄瓜秧苗定植后第 13 天 (5 月 16 日) 至拉秧前 1 天 (8 月 30 日)。在试验期内, 共计测定 12 次土壤呼吸强度, 每次测定时间均在上午的 9:00~12:00 之间。将 20 ml $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaOH}$ 溶液置于 150 ml 三角瓶中以吸收每个收集器中的 CO_2 , 每个三角瓶的瓶口均加有橡皮塞以阻止大气中 CO_2 被吸收。经过一段时间的吸收后, 用 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ HCl}$ 溶液滴定剩余的 NaOH 和产生的 Na_2CO_3 、 Na_2HCO_3 。根据反应方程式及 HCl 溶液的消耗量计算出 NaOH 溶液所吸收的 CO_2 量, 并换算

成单位时间 (d) 和单位面积 (m^2) CO_2 的产生量 (g), 即土壤呼吸强度: $\text{CO}_2 \text{ gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。

1.2.3 黄瓜的反应指标 根系的生长状况用最大根长及干重表示。地上部生长量用干重表示。植株的衰老状况用黄叶数表示。黄瓜果实中 Vc 含量用钼蓝比色法测定, 含糖量用蒽酮比色法测定, 有机酸含量用 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaOH}$ 溶液滴定, 可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝法测定^[7]。

2 结果与分析

2.1 紧实胁迫对土壤 CO_2 浓度日变化的影响

2.1.1 黄瓜秧苗定植后第 20 天土壤中 CO_2 浓度的日变化 从图 2 看出, R1.5 A CO_2 浓度变化较为平缓, 变幅为 $0.52 \sim 0.58 \text{ mL}^{-1}$, 平均浓度为 0.54 mL^{-1} 。R1.2 A 中 CO_2 浓度变化则随着时间的推移及气温的升高而升高, 至 16:00 时最大, 达 0.63 mL^{-1} , 之后又逐渐下降, CO_2 浓度的日变化范围为 $0.41 \sim 0.63 \text{ mL}^{-1}$, 平均浓度为 0.55 mL^{-1} 。R1.2 处理中 CO_2 浓度的日变化趋势与 Mielnick 和 Dugas^[8] 在正常耕作条件下作物生长期间的测定结果一致。R1.2 A 中 CO_2 浓度的日平均值略高于 R1.5 A, 这可能与 R1.2 的通气性良好有关, 但差异不显著。两个容重处理的 B 层和 C 层中 CO_2 浓度的变化趋势相同, 16:00 时 CO_2 浓度最大, R1.2 B 和 R1.5 B 分别为 1.07 mL^{-1} 和 1.66 mL^{-1} , R1.2 C 和 R1.5 C 分别为 1.46 mL^{-1} 和 2.25 mL^{-1} ; 16:00 以后, CO_2 浓度又缓慢降低。两个容重处理在 B 层和 C 层中 CO_2 浓度均是 R1.5 > R1.2 两个处理之间的差异较大, 除 8:00 外, 其他各时间点两处理之间的浓度差异均达到显著性水平 ($p < 0.05$)。

综合上述分析, 在土壤剖面的各层中, 两个容重处理 CO_2 平均浓度的变化顺序是: A 层 < B 层 < C 层, 即土层越深, CO_2 的浓度越大。在 8:00~16:00 R1.2 A 中 CO_2 浓度的变化趋势与 R1.2 B 及 R1.2 C 中的相似, 而 R1.5 A 中 CO_2 浓度的变化趋势与 R1.5 B 及 R1.5 C 的则不同, 这说明疏松土壤通透性好, 便于 CO_2 的扩散和传递。

2.1.2 黄瓜秧苗定植后第 41 天土壤中 CO_2 浓度的日变化 图 3 显示, 两个容重处理 A 层的 CO_2 浓度变化较为平缓, R1.2 A 的浓度在 $0.60 \sim 0.65 \text{ mL}^{-1}$ 之间, R1.5 A 在 $0.70 \sim 0.76 \text{ mL}^{-1}$ 之间。在 8:00~16:00 R1.5 A 中 CO_2 浓度均显著 ($p < 0.05$) 高于 R1.2 A。

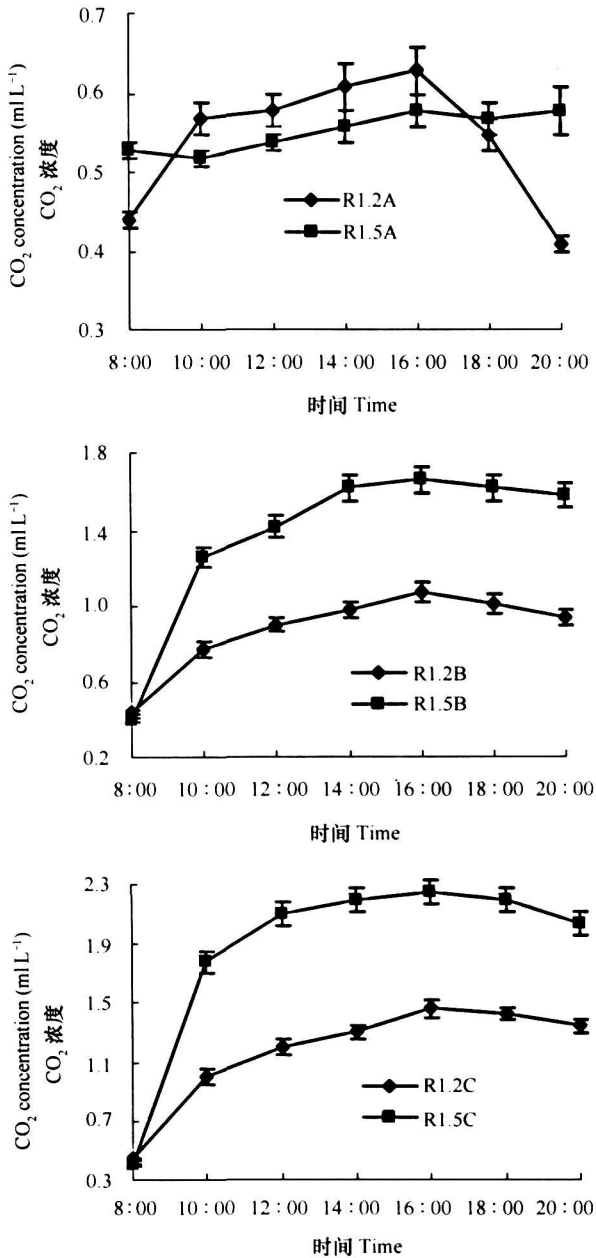


图2 黄瓜秧苗定植后第20天土壤剖面中CO₂浓度的变化
Fig. 2 Changes in CO₂ concentration in the soil profile on the 20th day after transplantation of cucumber seedlings

B层和C层CO₂浓度的日变化与定植后第20天的日变化趋势基本相同, B层在16:00时CO₂浓度最大(R1.2B和R1.5B分别为2.78和2.88 ml L⁻¹), C层CO₂浓度最大值(R1.2C和R1.5C分别为3.28和3.32 ml L⁻¹)出现的时间较B层提早2h即14:00时。B层中R1.5的CO₂浓度均高于R1.2除12:00~16:00之间两处理的差异不显著外, 其余各时间点的差异显著($p < 0.05$)。C层中

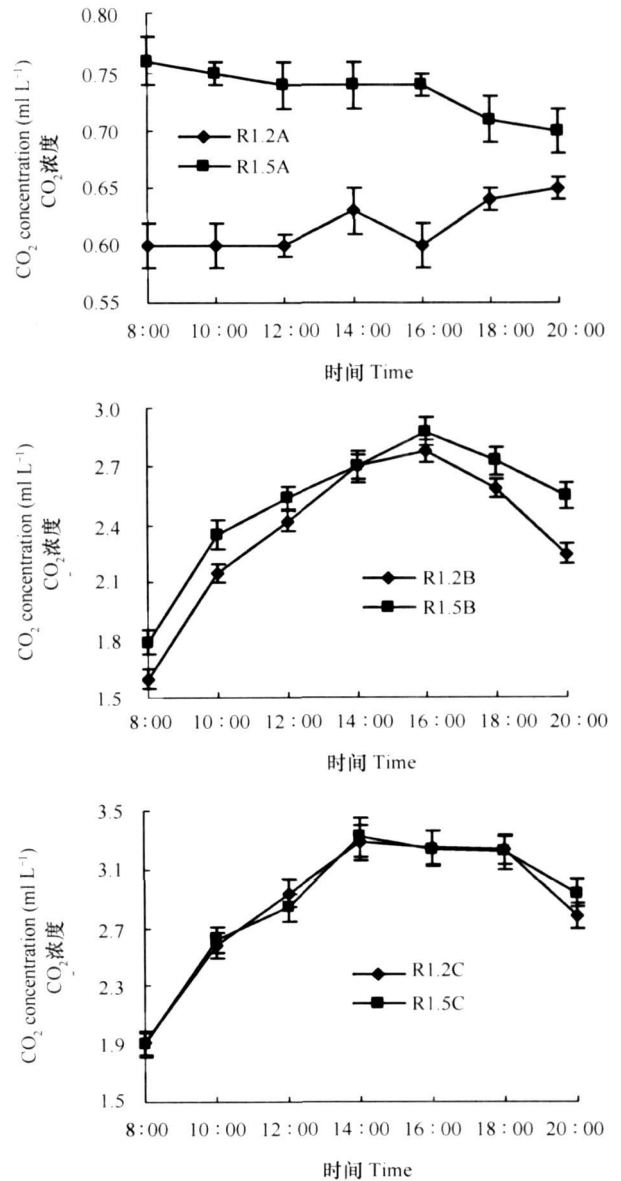


图3 黄瓜秧苗定植后第41天土壤剖面中CO₂浓度的变化
Fig. 3 Changes in CO₂ concentration in the soil profile on the 41st day after transplantation of cucumber seedlings

两处理CO₂浓度之间的差异虽然不显著, 但仍为R1.5 > R1.2。

C层中虽然两处理之间CO₂浓度基本相同, 但两个容重处理中根系的大小却相差较大, R1.2处理的根系较大, 平均干重为8.34 g, R1.5处理的根系较小, 平均干重只有5.43 g, 根系干重之间差异显著($p < 0.05$), 这说明, 生长在疏松土壤中发达的黄瓜根系呼吸释放的CO₂能够及时扩散并传递到大气中; 而紧实土壤由于通气性较差, 较小的根系呼吸释放的CO₂不能及时扩散和传递到大气中。如果将

CO₂浓度与根系干重比较, R1.2中单位重量根系拥有的 CO₂浓度为 0.31 mL L⁻¹, R1.5则为 0.50 mL L⁻¹, 这表明, 高容重土壤中 CO₂浓度相对较高。

与定植后第 20天土壤剖面中 CO₂浓度的日变化比较, 定植后第 41天两个处理剖面各层中 CO₂浓度均高于定植后第 20天的, 这是黄瓜根系较大所致。姜丽芬等^[9]的研究已证实, 根系呼吸速率与根系生物量之间呈线性相关。

综合黄瓜秧苗定植后土壤中 CO₂浓度的两次日变化测定结果, 两个容重处理 B层和 C层 CO₂浓度均为 R1.5>R1.2 即高容重土壤中 CO₂浓度高于低容重土壤。出现这种情况的原因与不同容重处理中土壤呼吸强度的大小有关。

2.2 紧实胁迫对土壤呼吸强度的影响

2.2.1 两个容重处理各土层的平均呼吸强度

对两个容重处理各土层在 5月 19日~8月 30日期间的土壤呼吸强度进行了分析, 各土层的平均呼吸强度见表 1。

表 1 两个容重处理各土层的平均呼吸强度

Table 1 Mean respiration intensity in various soils different in bulk density

处理 Treatment	各土层的平均呼吸强度		
	Mean respiration intensity in soil layers (g m ⁻² d ⁻¹)		
	A	B	C
R1.2	436.6	713.3	706.6
R1.5	444.7	892.8	969.1

从两个处理各层的土壤呼吸强度可以看出: A层的土壤呼吸强度均低于 B层和 C层。R1.2处理, 各层土壤呼吸强度的大小顺序为 A层<B层、C层, B层与 C层相差很小, 说明土壤内部的通透性良好, 利于土壤呼吸所产生的 CO₂的扩散; R1.5处理, 各层土壤呼吸强度大小顺序为 A层<B层<C层, 亦即土层越深土壤的呼吸强度越大, 表明土壤内部的通透性较差。

比较两个处理之间各层土壤的呼吸强度, 均为 R1.2<R1.5 其中, 两处理的 A层之间差异不显著, B层和 C层之间的差异均达到显著性水平 ($p < 0.05$)。高容重土壤的呼吸强度大于低容重土壤, 与两个处理之间各层 CO₂浓度的比较结果一致。

2.2.2 两个容重处理土壤呼吸强度的变化趋势

两个容重处理同一土层在黄瓜秧苗定植后第 16天(5月 19日)至拉秧前 1天(8月 30日)土壤呼吸强度动态图(图 4)显示: A层、B层和 C层呼吸强度

均是高容重土壤高于低容重土壤, 即 R1.5>R1.2。试验期内, 高容重土壤和低容重土壤的呼吸强度变化趋势是: 6月 20日后在小幅度波动中逐渐增大, 至 8月 10时达最大, 之后又逐渐减小。这与此时期内气温高、黄瓜根系和微生物的呼吸均较强有关。

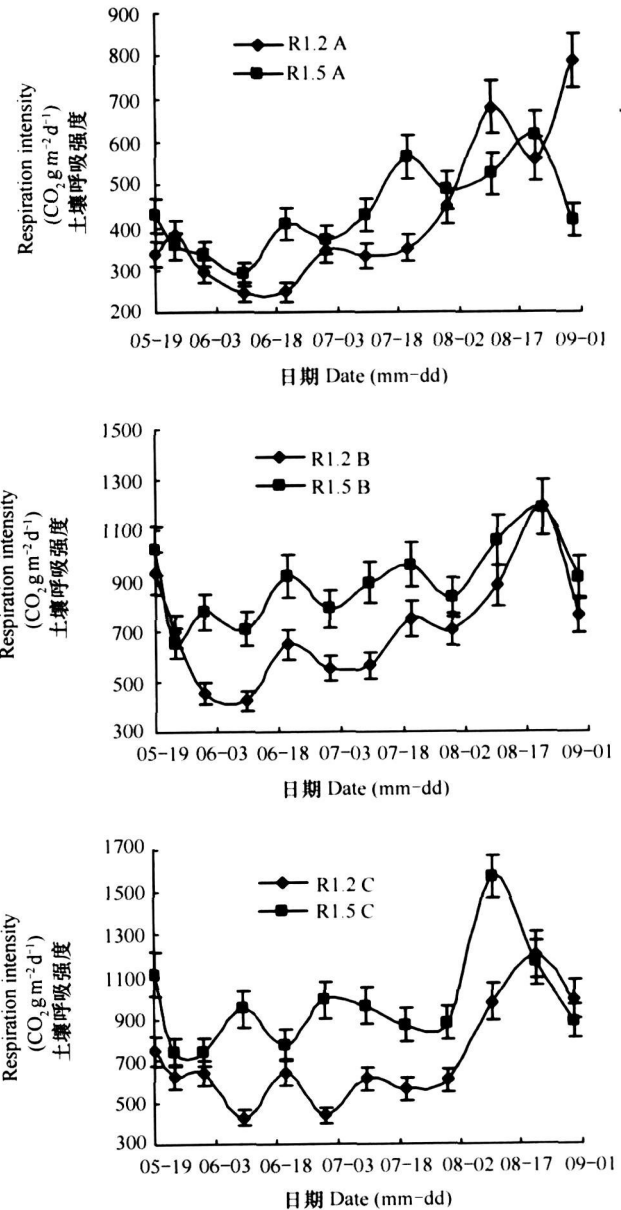


图 4 两容重处理土壤呼吸强度的变化

Fig 4 Change in respiration intensity in soils different in bulk density

两个处理各层的平均呼吸强度及呼吸强度变化趋势的比较结果均是高容重土壤的呼吸强度大于低容重土壤。

2.3 紧实胁迫下黄瓜的反应

2.3.1 黄瓜植株的反应 土壤是黄瓜生长的基

质,其紧实程度增加后,黄瓜根系的伸长生长受到明显抑制,根系重量显著减小,降幅为 34.89%,根冠比(地下部干重/地上部干重)降低,降幅为 30.68%(表 2)。与此同时,地上部的鲜重及干重也减小,鲜重的降幅显著,为 17.32%,但干物质含量

却有一定程度的增加。展开的叶片数减小,黄叶数增加,植株提前衰老。这些结果均表明:土壤紧实程度的增加抑制了地下部和地上部的生长。土壤紧实度的增加对根系生长产生的抑制作用与土壤中 CO_2 浓度及呼吸强度增加有关。

表 2 黄瓜植株对紧实胁迫的反应

Table 2 Responses of cucumber plant to soil compaction

处理 Treatment	地上部 Shoot			根系干重 Root DW (g)	地下部重 地上部重 Root DW / shoot DW	根长 Length of root (cm)	总叶数 Total number of leaves	黄叶数 Number of yellow leaves
	鲜重 FW (g)	干重 DW (g)	干重 / 鲜重 DW / FW					
R1.2	185 b	31.0	0.167	8.34 a	0.269	32 b	18	1
R1.5	153 a	29.1	0.190	5.43 b	0.187	55 a	16	2

2.3.2 黄瓜果实品质的反应 土壤紧实度的增加不仅对黄瓜植株的生长产生影响,对果实的外在品质也产生了影响(表 3)。紧实度增大后,果实的长度、瓜把长、横径及种子腔减小,表明紧实度的增加抑制了果实的膨大。瓜把/瓜长比的大小表示果实可食用部分所占比例的小与大,种子腔/横径比的大小则表示果实商品性的低与高。但瓜把/瓜长比及种子腔/横径比的减少并不意味着紧实度增大可增大果实的可食用部分及果品的商品性,只能说

明紧实度的增加抑制了果实的增长速度,推迟了上市时间。

土壤紧实度的增加也使果实的内在品质发生了改变(表 4),Vc及可溶性糖含量降低,可溶性糖含量降低了 31.15%,降幅显著。但可溶性蛋白质含量及有机酸含量增加,有机酸含量的增幅为 26.43%。可溶性糖含量的降低及有机酸含量的增加导致了果实糖/酸比的大幅度降低,降幅为 45.54%,果实的风味变差。

表 3 黄瓜外在品质对紧实胁迫的反应

Table 3 Responses of apparent quality of cucumber fruit to soil compaction

处理 Treatment	瓜长 Length (cm)	瓜把长 Stalk (cm)	横径 Diameter (cm)	种子腔 Seed cavity (cm)	瓜把/瓜长 Stalk / length (%)	种子腔/横径 Seed cavity / diameter (%)
R1.2	34.0	9.10	2.90	1.40	26.74	48.34
R1.5	32.0	8.00	2.74	0.95	25.00	34.54

表 4 黄瓜内在品质对紧实胁迫的反应

Table 4 Responses of inner quality of cucumber fruit to soil compaction

处理 Treatment	Vc含量 Vc content (mg 100g ⁻¹ FW)	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content (mg 100g ⁻¹ FW)	可溶性糖含量 Soluble sugar content (mg 100g ⁻¹ FW)	有机酸含量 Organic acid content (mg 100g ⁻¹ FW)	糖/酸 Sugar/acid
R1.2	19.61	0.306 b	2.157 A	0.042 B	51.08
R1.5	18.34	0.467 a	1.485 B	0.053 A	27.82

3 讨论

土壤是作物生产的最重要的基质。土壤紧实度和土壤质地共同影响着土壤的通气性、温度、水分及耕作性质等特性,进一步影响着土壤中生物的

数量与活性、养分的转化及植物对养分的吸收状况等。土壤的紧实度发生变化,则其中水、肥、气、热等肥力因子及这些因子之间的协调性便发生变化,进而对作物的生长发育及其产量产生影响。在疏松土壤中生长的作物,生长发育状况良好,而在紧实土壤中,作物的根系生长、地上部生长及发育均

会受到不同程度的抑制, 导致产量下降、产品风味变差^[6 10-12]。究其原因, 可能与紧实胁迫后根系产生的某种物质及其积累有关。

本试验中, 黄瓜秧苗定植后第 20天和第 41天紧实土壤和疏松土壤中 CO₂浓度的日变化检测结果均是紧实土壤高于疏松土壤。产生这种情况一是与紧实土壤的呼吸强度高有关, 本试验的研究结果已表明, 在黄瓜秧苗定植 16 d后, 紧实土壤各层的呼吸强度均高于疏松土壤; 二是与紧实土壤的通气性差有关, 不良的通气性使土壤呼吸过程中产生的大量 CO₂扩散移动减慢, 不能及时扩散到大气中去, 在土壤中积累。

土壤呼吸是一个复杂的生物学过程, 主要包括土壤微生物呼吸和植物根系呼吸。影响土壤呼吸的因素有: 通气性、土温、水分、有机质含量、pH等^[13], 其中通气性、土温、水分是主要因子。本试验中, 两处理的 pH、水分和有机质的相对含量均相同; 试验所用的土体较小, 两处理之间因紧实度不同而产生的土温差异甚微。因此, 通气性就成为影响土壤呼吸的关键因子。通气性的强弱取决于土壤紧实程度的高低。紧实土壤的通气性较差, 根系和微生物有氧呼吸产生的 CO₂不易扩散和传递, 在土壤中逐渐积累。这些逐渐累积的 CO₂又使根系和微生物的有氧呼吸受到抑制, 无氧呼吸加强, 产生酒精、乳酸和 CO₂。至于紧实土壤和疏松土壤中, 根系呼吸和微生物呼吸对土壤呼吸贡献的大小问题有待进一步研究。

紧实土壤(容重为 1.5 g cm⁻³)中 CO₂积累的结果是, 黄瓜根系的伸长生长受到抑制; 地上部的生长量减小, 黄叶数增加, 植株的衰老提前; 果实的膨大受到抑制, 果形变小, 果实中的可溶性糖含量显著降低, 有机酸含量则显著增加, 糖酸比大幅度降低, 果实的风味变差。作者早先的研究曾发现, 高容重土壤还使黄瓜的根系活力下降, 根系对养分的总吸收量降低, 光合速率降低, 产量下降^[10 11]。研究已证实, 土壤中 CO₂较高时, 不仅会抑制微生物的有氧呼吸^[14], 还会抑制根系的有氧呼吸^[13 15]。微生物的有氧呼吸受到影响后, 分解有机质的能力降低。根系的有氧呼吸受阻后, 细胞内氧化磷酸化电子传递受阻, 造成细胞色素氧化还原系统的还原力下降, ATP和 NADP(H)⁺生成量减小, 抑制植物地上部的光合作用, 同时阻碍了根系对水分和养分的吸收, 表现为植物生长缓慢, 生长势减弱, 植株矮小^[16]。另外, 土壤中 CO₂较高时, 植株的呼吸作用

加强, 光合作用与呼吸作用之间的平衡状态被打破, 碳水化合物降解加快, 合成不足, 使植物的生长受阻^[17]。土壤中 CO₂浓度的增加还会使土壤溶液中的 HCO₃⁻浓度升高。张凌云等^[18]的研究认为, 土壤溶液中高浓度的 HCO₃⁻与植物缺铁黄化有直接关系。Jiang等^[19]在研究缺铁对大豆叶片光合作用和光系统 II功能的影响时发现, 铁缺乏伤害了光系统 II复合物供体侧和受体侧的电子传递, 使光系统 II的电子传递活性明显下降, 实际光化学效率降低, 光系统 II功能的下降致使叶片光合速率大幅下降, 产量降低。

在紧实胁迫条件下, 土壤除了呼吸释放出大量的 CO₂外, 根系还会产生大量的信号物质脱落酸(ABA)^[20], ABA不仅会使根系活力降低, 并可通过木质部运输至地上部, 使叶片细胞膜受到伤害, 还对光合作用产生抑制作用。紧实胁迫条件下, 土壤和植物根系是否还会产生其他的物质, 有待进一步的研究。

参考文献

- [1] 王凤文, 杨书运. 土壤呼吸研究进展. 安徽农业, 2004(12): 50~51. Wang F W, Yang S Y. The development on the soil respiration (In Chinese). Anhui Agriculture 2004(12): 50~51
- [2] 戴万红, 王益权, 黄耀, 等. 土剖面 CO₂浓度的动态变化及其受环境因素的影响. 土壤学报, 2004 41(5): 827~831. Dai W H, Wang Y Q, Huang Y, et al. Seasonal dynamic of CO₂ concentration in loess soil and impact by environmental factors (In Chinese). Acta Pedologica Sinica 2004, 41(5): 827~831
- [3] Yang L F, Cai Z C. Soil respiration during a soybean-growing season. Pedosphere 2006, 16(2): 192~200
- [4] 张晓龙, 赵景波, 马润花. 西安黄绵土碳排放规律研究. 土壤, 2004, 36(4): 398~404. Zhang X L, Zhao J B, Ma R H. Change in CO₂ emission from loess soil in Xi'an area (In Chinese). Soils 2004 36(4): 398~404
- [5] 梁银丽, 陈志杰. 设施蔬菜土壤连作障碍原因和预防措施. 西北园艺, 2004(7): 4~5. Liang Y L, Chen Z J. The reasons and preventive measures of the problems on soil in the system of continuous planting vegetable and protected cultivation (In Chinese). Northwest Horticulture, 2004(7): 4~5
- [6] 张国红, 张振贤, 梁勇, 等. 土壤紧实度对温室番茄生长发育、产量及品质的影响. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 65~67. Zhang G H, Zhang Z X, Liang Y, et al. Effect of compaction on tomato growth, development, yield and quality in solar greenhouse (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004 12(3): 65~67
- [7] 高俊凤. 植物生理学实验指导. 西安: 世界图书出版社, 2000 192~201. Gao J F. Experimental Guidance of Plant Physiology

- (In Chinese). Xi'an World Books Press 2000 192~201
- [8] Mielnick P C, Dugas W A. Soil CO₂ flux in a tallgrass prairie. *Soil Biol Biochem.*, 2000, 32: 221~228
- [9] 姜丽芬, 石福臣, 王化田, 等. 东北地区落叶松人工林的根系呼吸. *植物生理学通讯*, 2004, 40(1): 27~30. Jiang L F, Shi F C, Wang H T, *et al*. Root respiration in *Larix gmelinii* plantations in northeast China (In Chinese). *Plant Physiol Commun.*, 2004, 40(1): 27~30
- [10] 孙艳, 王益权, 冯嘉玥, 等. 土壤紧实胁迫对黄瓜生长、产量及养分吸收的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 559~564. Sun Y, Wang Y Q, Feng J Y, *et al*. Effects of soil compaction stress on the growth, yields and nutrient absorption of cucumber (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(4): 559~564
- [11] 孙艳, 王益权, 杨梅, 等. 土壤紧实胁迫对黄瓜根系活力和叶片光合作用的影响. *植物生理与分子生物学学报*, 2005, 31(5): 545~550. Sun Y, Wang Y Q, Yang M, *et al*. Effects of soil compactness stress on root activity and leaf photosynthesis of cucumber (In Chinese). *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2005, 31(5): 545~550
- [12] 贺明荣, 王振林. 土壤紧实度变化对小麦籽粒产量和品质的影响. *西北植物学报*, 2004, 24(4): 649~654. He M R, Wang Z L. Effects of soil compaction on grain yield and quality of wheat (In Chinese). *Acta Bot Boreal Occident Sin.*, 2004, 24(4): 649~654
- [13] 贾丙瑞, 周广胜, 王凤玉, 等. 土壤微生物与根系呼吸作用影响因子分析. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1547~1552. Jia B R, Zhou G S, Wang F Y, *et al*. Affecting factors of soil microorganism and root respiration (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1547~1552
- [14] Koizumi H, Nakada T, Usami Y, *et al*. Effect of carbon dioxide concentration on microorganism respiration in soil. *Ecol Res.*, 1991, 6: 227~232
- [15] Qi J, Marshall J D, Mattson K G. High soil carbon dioxide concentrations inhibit root respiration of Douglas fir. *New Phytol.*, 1994, 128: 435~442
- [16] 孙艳军, 郭世荣, 胡晓辉, 等. 根际低氧逆境对网纹甜瓜幼苗生长及根系呼吸代谢途径的影响. *植物生态报*, 2006, 30(1): 112~117. Sun Y J, Guo S R, Hu X H, *et al*. Effect of root zone hypoxia stress on growth and respiratory metabolism seedling roots (In Chinese). *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(1): 112~117
- [17] Marcus K B. Salinity tolerance mechanisms of grasses in the subfamily chloridoideae. *Crop Sci.*, 1999, 39: 1153~1160
- [18] 张凌云, 张宪法, 翟衡. 土壤因子对植物缺铁失绿的影响. *土壤通报*, 2002, 33(1): 74~77. Zhang L Y, Zhang X F, Zhai H. Effects of soil factors on plant chlorosis due to iron deficit (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(1): 74~77
- [19] Jiang C D, Gao H Y, Zou Q, *et al*. Effects of iron deficiency on photosynthesis and photosystem II function in soybean leaf. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2007, 33(1): 53~60
- [20] 刘晚苟, 山仑, 邓西平. 植物对土壤紧实度的反应. *植物生理学通讯*, 2001, 37(3): 254~259. Liu W G, Shan L, Deng X P. Responses of plant to soil compaction (In Chinese). *Plant Physiol Commun.*, 2001, 37(3): 254~259

EFFECT OF SOIL COMPACTION ON SOIL RESPIRATION INTENSITY, PLANTS GROWTH AND FRUIT QUALITY OF CUCUMBER

Sun Yan^{1,2} Wang Yiquan² Xu Weijun¹ Pu Yafeng¹ Wu Ying²

(1 College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 College of Resources and Environment Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract A pot experiment was carried out using soils 1.2 and 1.5 g cm⁻³ in bulk density was experimented to study effects of soil compaction on soil respiration intensity and CO₂ concentration in various soil layers and responses of cucumber to soil compaction in plant growth and fruit quality. Results show that CO₂ concentration and respiration intensity in the soil layers below the surface in the compacted soil (CS) were higher than in the loose soil (LS). The extension of roots was hindered in CS leading to significantly lower dry weight of the roots, decreased root/shoot ratio and lower fresh weight and dry weight of shoots too but certain increase in dry matter content. Fewer extended leaves, more yellow leaves and earlier senescence were found of the plants in CS than in LS. And furthermore, fruit expansion rate suppressed, soluble sugar content in fruit lowered, contents of soluble protein and organic acid significantly increased, sugar/acid ratio declined sharply and fruit flavor worsened.

Key words Soil compaction stress, Bulk density, Soil respiration intensity, Cucumber (*Cucumis sativus* L.)