

不同氮水平下 CO₂ 浓度升高对小麦土壤可溶性 C、N 和 P 的影响

马红亮^{1, 2} 朱建国^{1*} 谢祖彬¹ 张雅丽¹ 曾青¹ 刘钢¹

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 采用 FACE (Free air carbon dioxide enrichment) 技术, 研究了不同 N 施肥水平下, 大气 CO₂ 浓度升高对稻/麦轮作小麦季土壤可溶性 C、N、P 的影响。结果表明, 高 CO₂ 使土壤可溶性 C 在小麦前期和 0~5 cm 土层降低, 成熟期增加, 对水稻和小麦不同轮作季土壤可溶性 C 的影响不同。在低 N 和常规 N 处理下, 高 CO₂ 使小麦分蘖期土壤可溶性 N 含量分别增加 17.2 % 和 18.9 %, 在其他生长期, 土壤可溶性 N 含量降低 9.8 %~63.0 %, 拔节期降低幅度最大分别为 63.0 % 和 50.4 %, 土层 0~5 cm 降低幅度>5~15 cm 土层; 小麦季和水稻季一样需要增加 N 肥施用量。CO₂ 浓度升高增加了土壤可溶性 P 的含量, 其中低 N 处理增加幅度高于常规 N 处理, 研究表明小麦生长不会受到 P 养分的限制。

关键词 CO₂ 浓度升高; 麦季; 土壤可溶性 C、N、P

中图分类号 S153.61

由于人为活动 (主要是森林砍伐, 化石燃料燃烧等) 的影响, 导致大量 C 进入大气, 促使大气中 CO₂ 浓度升高, 已由工业革命前 (大约 1750 年) 的 $280 \pm 10 \mu\text{mol/mol}$ 增长到现在 (2001 年) 的 $370 \mu\text{mol/mol}$ 左右^[1]。目前有关大气 CO₂ 浓度升高对土壤可溶性 C、N、P 影响的动态研究很少报道。然而在大气 CO₂ 浓度升高条件下, 植物通过间接的作用, 有 20 %~50 % 的光和同化碳转移到地下区域^[2, 3], 为土壤微生物增加了 C 源和能量, 生物活性提高, 有利于增加土壤的可溶性 C、N、P, 所以值得我们研究土壤中发生的变化。

有关 CO₂ 浓度升高对小麦的研究有过报道^[4, 5], 而我们利用建在无锡的 FACE 平台, 在水稻/小麦轮作农田条件下, 开展大气 CO₂ 浓度升高对土壤过程影响的研究。在对水稻土壤可溶性 C、N、P 研究后已取得初步结果^[5], 但考虑到不同耕作条件和轮作作物的差异, 本试验将利用 FACE 系统, 在农田生态系统的稻麦轮作中, 研究小麦季土壤可溶性 C、N、P 的变化, 进而探讨在轮作条件下 CO₂ 浓度升高对土壤可溶性养分的影响。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

稻麦轮作 FACE 系统平台^[6]位于江苏省无锡市安镇年余农场 (31°37'N, 120°28'E)。土壤类型为水耕人为土 (俗称黄泥土); 年降水量 1100~1200 mm, 年平均温度约 16℃, 年日照时间>2000 h, 年无霜天数>230 天, 耕作方式为水稻-冬小麦轮作。土壤有关基本性质为: 砂粒 (1~0.05 mm) 92.0 g/kg, 粉砂粒 (0.05~0.001 mm) 657.0 g/kg, 黏粒 (<0.001 mm) 251.0 g/kg, 体积质量 (容重) 1.2 g/cm³, 有机 C 15 g/kg, 全 N 1.59 g/kg, 全 P 1.23 g/kg, 速效 P 10.4 mg/kg, pH 6.8。

1.2 田间试验处理

试验采用裂区设计。CO₂ 浓度为主处理, N 肥处理为副处理。FACE 圈 (高 CO₂ 圈) 大气 CO₂ 浓度比对照圈 (Ambient 圈) 升高 200 $\mu\text{mol/mol}$, FACE 和 Ambient 圈 (当前周围大气 CO₂ 浓度) 内设两个 N 水平, 分别是: 常规 N (NN, 250 kg/hm²), 低 N (LN, 150 kg/hm²); P 水平为 75 kg/hm²。复合肥和尿素分 4 次施用, 分别在小麦播种后 5、26、115 和 148 天作为基肥、苗肥、拔节肥和穗肥施用; 低 N 处理在第 1 次和第 3 次分别施复合肥的 2/3 和 1/3, 第 2 次和第 4 次各施尿素 1/2; 常规 N 处理在第 1 次和第 3 次分别施复合肥 2/3 和 1/3, 尿素分别施 2/7 和 1/7, 第 2 次和第 4 次各施尿素 2/7。播种行距 20 cm, 密

①中国科学院知识创新重要方向项目 (KZCX2-408)、国家自然科学基金重大国际合作研究项目 (40120140817)、973 项目—中国陆地生态系统碳循环及其驱动机制研究 (CCDMCTE-2002CB412502) 共同资助。

* 通讯作者 (jgzhu@mail.issas.ac.cn)

度 300 万粒/hm²。

1.3 土样采集与分析

小麦实验, 2001 年 11 月 8 日播种, 播种后 128、152、171 和 202 天分别采样, 分别代表着分蘖期、拔节期、抽穗期和成熟期。每次采土样两层: 0~5 cm 和 5~15 cm, 约 1 kg。取土时, 在小麦行间用铲子取表层土, 接着取低层土。同一肥料处理的同一层土混在一起, 挑出可见的所有物质。每次取土后在新鲜情况下带回实验室尽快测土壤可溶性 C、N、P, 或新鲜土壤保存在 4~5 °C 条件下待测, 开始测定的时间不超过两天。

土壤可溶性 C、N 用 K₂SO₄ 溶液提取^[7], 可溶性 P 用 NaHCO₃ 溶液提取^[8], 详细测定步骤参见文献^[9]。提取液中的全 C 用“高温外热重铬酸钾氧化-容量法”, 全 N 用分段流动分析仪 (荷兰, Skalar 公司) 测得, 全 P 用钼兰比色法-7530 紫外分光光度法测得^[10]。

1.4 小麦对 N 和 P 吸收的测定

2001~2002 年小麦生长季, 在土壤采样同时采小麦植株 20~40 棵, 采回后按照叶、茎、穗和根不同部位分别洗干净, 烘干称重, 磨细过筛。植株 N 用元素分析仪 (PERKIN ELMER 2400, Series II, CHNS/O Analyzer) 测定, 植株 P 用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化, 钼兰法比色测定 (参阅 GB7887-87), 最后计算小麦整体对 N 和 P 的吸收。

1.5 数据分析方法

本文采用 ANOVA、F-检验和 LSD 方法, 在不

同 CO₂ 浓度条件下对土壤可溶性 C、N、P 以及小麦 N、P 吸收的数据进行统计分析。

2 结果分析与讨论

2.1 高 CO₂ 浓度对土壤可溶性 C 的影响

表 1 显示, 在低 N 和常规 N 处理下, CO₂ 浓度升高对小麦季土壤 0~5 cm 和 5~15 cm 可溶性 C 的影响趋势相同。低 N 处理下小麦土壤可溶性 C 在整个生长期各土层分别平均降低 4.4 % 和 0.5 %, 在常规 N 处理下, 分别平均降低 7.6 % 和增加 15.5 %, 可见高 CO₂ 主要降低了土层 0~5 cm 的可溶性 C 含量, 但增加了常规 N 处理下 5~15 cm 土层的 C 含量。

在低 N 处理下, 随着水稻的生长, 高 CO₂ 使土壤可溶性 C 在越冬期、分蘖期、拔节期、抽穗期分别平均降低 12.8 %、4.7 %、20.8 %、27.6 %, 成熟期则增加 18.4 %; 在常规 N 处理下越冬期、分蘖期、拔节期分别平均降低 19.8 %、21.7 %、6.2 %, 抽穗期和成熟期分别平均增加 16.4 % 和 19.2 %。在不同的 N 处理下, 高 CO₂ 对土壤可溶性 C 在不同生长期的影响趋势类似, 都在成熟期增加, 而且常规 N 处理下, 提前在抽穗期开始增加。

在水稻和小麦轮作农田系统中, 一个处在还原条件, 一个是氧化条件, 而且相互轮换, 这样对土壤有机质的矿化和养分的转化都会产生影响。我们已就 CO₂ 浓度升高对水稻季土壤可溶性 C、N、P 的影响作了研究^[9], 本文结果显示 CO₂ 浓度升高对

表 1 CO₂ 浓度升高对土壤可溶性 C 的影响

Table 1 Effect of elevated CO₂ on content of available soil C

施肥处理	土壤层次 (cm)	CO ₂ 水平	小麦播种后不同时间土壤可溶性 C 的含量(mg/kg)					(F-A) /A (%)
			64d	128d	152d	171d	202d	
LN	0~5	F	38.5 ± 7.6	27.0 ± 12.6	39.8 ± 15.5	19.3 ± 7.2	120.8 ± 39.7	-4.4
		A	44.8 ± 8.8	40.7 ± 25.6	48.9 ± 27.2	44.1 ± 33.2	78.3 ± 1.2	
	5~15	F	22.2 ± 5.8	25.6 ± 12.6	29.4 ± 20.2	27.3 ± 17.0	104.0 ± 22.0	-0.5
		A	24.8 ± 1.9	14.4 ± 8.4	38.5 ± 11.0	20.3 ± 14.9	111.6 ± 60.1	
		(F-A) /A (%)	-12.8	-4.7	-20.8	-27.6	18.4	
NN	0~5	F	44.5 ± 13.6	25.7 ± 10.6	40.9 ± 10.1	50.5 ± 12.8	93.8 ± 32.3	-7.6
		A	40.9 ± 5.5	53.1 ± 29.3	38.8 ± 14.9	38.6 ± 14.7	104.8 ± 24.2	
	5~15	F	16.7 ± 3.6**	35.7 ± 22.7	21.6 ± 4.1	27.1 ± 17.1	106.4 ± 44.2	15.5
		A	35.4 ± 6.2	25.3 ± 12.6	27.8 ± 8.9	28.0 ± 21.6	63.2 ± 11.7	
		(F-A) /A (%)	-19.8	-21.7	-6.2	16.4	19.2	

* 表示 F (FACE) 与 A (Ambient) 在 p<0.05 水平有显著差异; **表示 F (FACE) 与 A (Ambient) 在 p<0.01 水平有显著差异; ***表示 F (FACE) 与 A (Ambient) 在 p<0.001 水平有显著差异; 数据表示为: 平均值±标准偏差, 下同。

小麦季土壤可溶性 C 含量的影响与水稻季正好相反。CO₂ 浓度升高, 首先小麦土壤可溶性 C 含量主要在表层降低, 这与小麦季土壤表面氧化性强, 可溶性 C 分解快有关; 其次, 在小麦成熟期土壤可溶性 C 含量增加, 在小麦抽穗期以前以及低 N 处理下抽穗期可溶性 C 含量降低, 可能与小麦生长前期根系分泌物增加 (因为水稻前期根系分泌物增加^[9]) 有关, 且土壤处于好气环境, 生物活性较强, 分解加快。CO₂ 浓度升高对小麦季和季土壤可溶性 C 都没有产生显著影响, Cheng 等^[11]和 Hoque 等^[12]也发现同样的结果, 在箱式和田间试验中, 整个生长季升高的 CO₂ 浓度对活性 C 没有明显的影响。尽管 CO₂ 浓度升高促进了作物生物量的增加, 更多的同化产物进入土壤^[2, 3], 但是农田管理方式, 比如耕作, 作物残体处理方式, 施肥和土地利用等也会对土壤有机 C 水平产生影响^[13, 14]。本文结果显示水稻和小麦轮作对土壤中可溶性 C 含量的影响是相反的, 由于是轮作制系统, 它们之间必然存在相互作用和影响。

2.2 高 CO₂ 浓度对土壤可溶性 N 的影响

在不同 N 处理下, 高 CO₂ 浓度对小麦季不同土壤层可溶性 N 的影响相同。从表 2 可以看出, 低 N 处理下, 高 CO₂ 使土层 0~5 和 5~15 cm 土壤可溶性 N 总体平均分别降低 29.3% 和 24.9%; 常规 N 处理下平均分别降低 20.9% 和 5.4%。由于作物生物量增加吸收了更多的 N, 因此低 N 处理下降低幅度较大, 即使在常规 N 处理下也有所降低, 表明小麦季

和季一样, 需要增加 N 肥的施用。

从小麦不同生长期看 (表 2), 在低 N 和常规 N 处理下, 高 CO₂ 分别使小麦越冬期土壤可溶性 N 降低 22.4 % 和 23.4 %, 分蘖期增加 17.2 % 和 18.9 %, 在拔节期分别降低 63.0 % 和 50.4 %, 抽穗期降低 31.0 % 和 14.2 %, 成熟期降低 9.8 % 和增加 0.1 %。且高 CO₂ 也降低了土壤 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 的含量, 分别降低 13.8 %~80.4 % 和 10.0 %~72.7 % (图 1)。土壤中 N 含量的降低, 很大程度取决于作物的吸收。本文结果显示 (图 2), CO₂ 浓度升高使小麦整体对土壤 N 的吸收增加, 这有利于作物对土壤 N 养分的利用, 减少 N 流失从而减少对环境的污染。

在小麦和季, CO₂ 浓度升高对土壤可溶性 N 的影响趋势类似, 无论是不同土壤层次还是不同生长期都降低。而且降低的可能原因也类似: 一方面小麦根系的增加, 包括横向生长的根系^[15], 导致吸收更多的可溶性 N; 正因为这样, 土壤可溶性 N 才会先在 0~5 cm 降低, 然后 5~15 cm 降低; 另一方面, 生物量的增加需要大量的 N 元素 (图 2); 可能还有其他 N 损失途径, 如氨挥发等。高 CO₂ 浓度条件下土壤可溶性 N 含量的降低与 Hu 等^[16]的报道一致, 他们的实验结果显示, 在对照圈中的土壤可溶性 N 含量高于 FACE 中 31 %。本文中不同 N 水平下总体上降低的幅度在 9.8 %~63.0 %, 表明 CO₂ 浓度升高会改变植物和土壤生物对 N 的竞争关系, 有助于植物对 N 的利用, 而且现有实验中的施肥水平可能仍有进一步提高的余地。

表 2 CO₂ 浓度升高对土壤可溶性 N 的影响

Table 2 Effect of elevated CO₂ on content of available soil N

施肥处理	土壤层次 (cm)	CO ₂ 水平	小麦播种后不同时间土壤可溶性 N 的含量 (mg/kg)					(F-A) / A (%)
			64d	128d	152d	171d	202d	
LN	0~5	F	47.6±4.5	16.1±4.4	14.1±7.9	10.0±0.5	9.7±0.5	-29.3
		A	57.6±7.8	11.1±7.0	44.1±30.1	15.2±2.2	10.0±1.0	
	5~15	F	17.1±4.3	16.6±4.6	6.4±1.3	9.1±0.3	8.3±0.8	-24.9
		A	25.8±1.7	16.8±4.6	11.5±4.1	12.5±2.1	9.9±1.4	
		(F-A)/A (%)	-22.4	17.2	-63.0	-31.0	-9.8	
NN	0~5	F	71.1±33.6	31.2±26.8	48.5±22.0	20.1±3.6	12.5±0.8	-20.9
		A	91.1±25.6	20.6±—	90.7±24.1	17.0±7.8	12.4±1.1	
	5~15	F	28.2±9.5	42.4±34.3	10.3±3.0	14.4±6.9	10.0±1.1	-5.4
		A	38.5±5.1	11.8±8.5	27.8±9.7	23.1±12.6	10.1±1.7	
		(F-A)/A (%)	-23.4	127.6*	-50.4	-14.2	0.1	

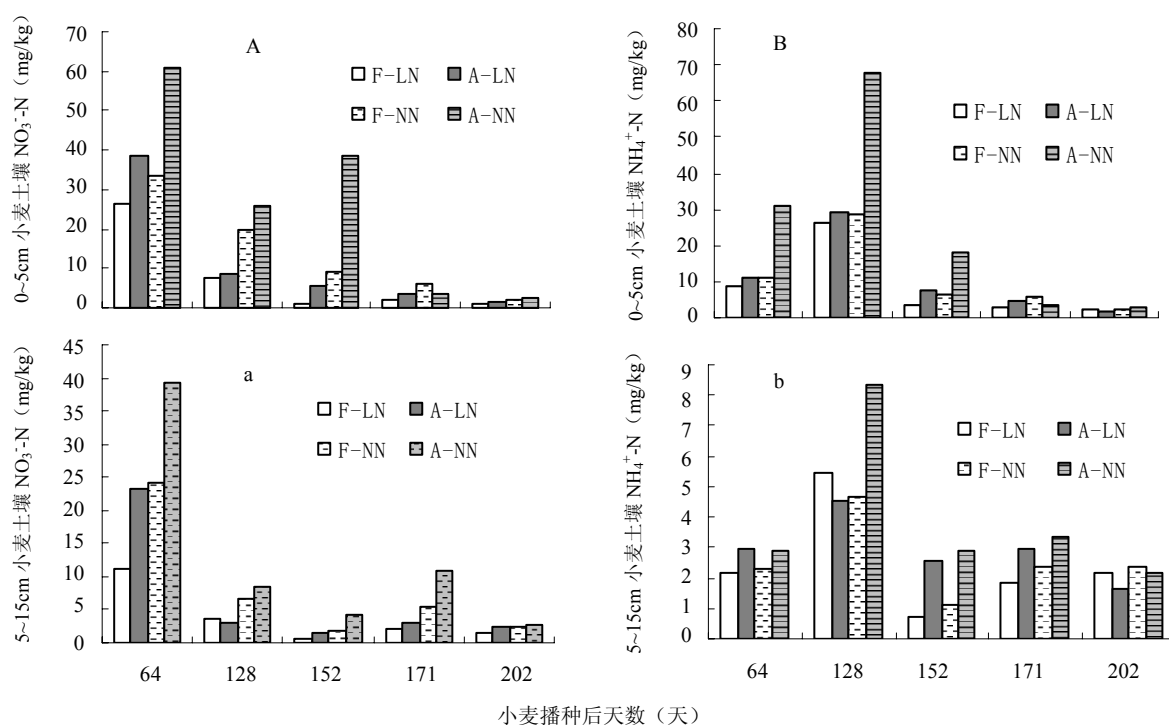


图1 在不同施肥水平下, CO₂ 浓度升高对小麦季土壤 NO₃⁻-N (A, a) 和 NH₄⁺-N (B, b) 的影响

Fig. 1 Effect of elevated CO₂ on soil NO₃⁻-N (A, a) and NH₄⁺-N (B, b) in winter wheat field fertilized at different levels

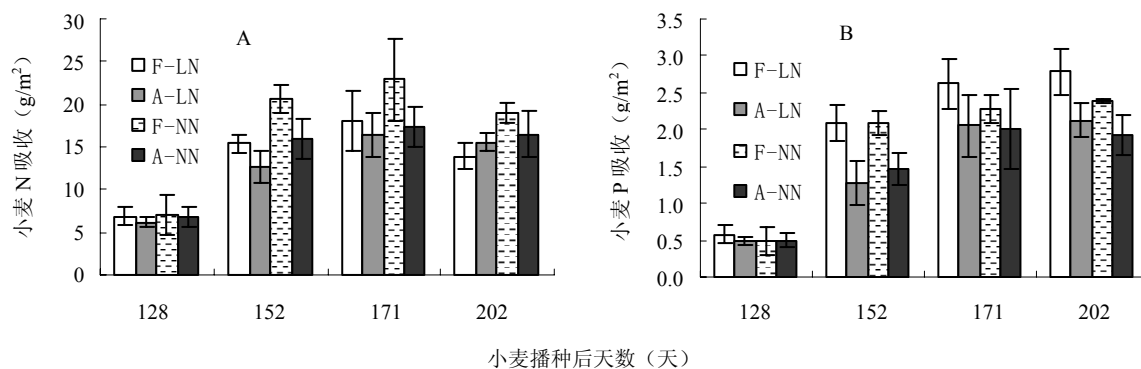


图2 不同 N 水平下, CO₂ 浓度升高对小麦 N (A) 和 P (B) 吸收的影响

Fig. 2 Effects of elevated CO₂ on N (A) and P (B) uptake of winter wheat treated with different N levels (Values are shown Mean ± SD)

2.3 高 CO₂ 浓度对土壤可溶性 P 的影响

高 CO₂ 浓度对土壤可溶性 P 和可溶性 N 的影响截然不同 (表 3)。在低 N 处理下, 高 CO₂ 使土层 0~5 cm 和 5~15 cm 可溶性 P 总体平均分别升高 26.5% 和 4.4%, 在常规 N 处理下分别增加 7.2% 和 10.8%。通过与水稻季的结果比较表明, CO₂ 浓度升高对小麦土壤可溶性 P 含量的促进大于水稻。

高 CO₂ 浓度使土壤可溶性 P 在小麦不同生长期

增加 (表 3)。在低 N 处理下由越冬期到成熟期平均增加 11.1%~25.4%; 在常规 N 处理下平均增加 7.0%~22.0%, 但是在成熟期没有增加。CO₂ 浓度升高使土壤可溶性 P 增加的程度在常规 N 处理下低于低 N 处理, 这可能与作物生长需肥增加和 N 养分的协助作用有关, 表明随着生物量的增加作物会同时加大对养分的需求, 并且会兼顾到养分的平衡。小麦对 P 吸收的结果显示 (图 2), 在不同 N 处理下 CO₂

浓度升高使小麦对 P 的吸收增加, 拔节期增加最明显, 低 N 和常规 N 处理分别显著增加 64.6 % 和 43.5 %, 而且低 N 处理增加幅度较大。

在小麦对 P 吸收增加的情况下, 土壤的可溶性 P 没有减少, 反而增加, 可以说明 CO₂ 浓度升高以后对土壤 P 有明显的促进作用, 很可能小麦的根系

分泌物比水稻更有利于土壤可溶性 P 的增加, 其中包括酸性磷酸酶活性的提高^[17], 以及柠檬酸盐的分泌使土壤 Al/Fe 复合体释放出更多的无机 P^[18]。试验结果表明, 在水稻/小麦轮作中, CO₂ 浓度升高条件下, 小麦季土壤不会缺 P, P 肥的施用更多地考虑水稻季的需要。

表 3 CO₂ 浓度升高对土壤可溶性 P 的影响

Table 3 Effect of elevated CO₂ on content of available soil P

施肥处理	土壤层次 (cm)	CO ₂ 水平	小麦播种后不同时间土壤可溶性 P 的含量(mg/kg)					(F-A) / A (%)
			64d	128d	152d	171d	202d	
LN	0 ~ 5	F	5.94 ± 1.64	3.33 ± 2.98	6.25 ± 0.57	4.96 ± 0.45	5.75 ± 0.88	26.5
		A	5.42 ± 1.17	1.93 ± 0.24	5.03 ± 2.57	3.94 ± 1.64	4.41 ± 0.82	
	5 ~ 15	F	5.68 ± 1.35	3.08 ± 1.75	3.77 ± 0.96	4.80 ± 1.06	4.10 ± 1.26	4.4
		A	4.79 ± 1.56	3.84 ± 1.60	3.78 ± 1.32	3.84 ± 0.15	4.27 ± 0.51	
		(F-A) / A (%)	13.9	11.1	13.7	25.4	13.5	
NN	0 ~ 5	F	5.39 ± 1.76	3.08 ± 2.89	4.87 ± 1.26	4.42 ± 1.00	4.60 ± 0.81	7.2
		A	5.04 ± 1.09	2.41 ± 0.66	4.76 ± 0.26	3.84 ± 0.43	4.80 ± 0.51	
	5 ~ 15	F	4.83 ± 0.76	2.52 ± 0.80	4.47 ± 0.42	3.85 ± 0.77	4.41 ± 0.30	10.8
		A	4.38 ± 1.29	2.17 ± 1.40	3.97 ± 0.43	3.38 ± 0.75	4.22 ± 0.51	
		(F-A) / A (%)	8.4	22.0	7.0	14.5	-0.1	

3 初步结论

(1) CO₂ 浓度升高对小麦季与水稻季土壤可溶性 C 含量的影响不同, 使小麦生长前期和土层 0 ~ 5 cm 的可溶性 C 含量降低, 成熟期升高。

(2) CO₂ 浓度升高使小麦季土壤中的可溶性 N 含量降低, 需要增加 N 肥的施用量, 但在分蘖期和拔节期 CO₂ 浓度升高对小麦和水稻土壤的可溶性 N 含量的影响相反。

(3) CO₂ 浓度升高使小麦土壤可溶性 P 含量增加, 低 N 处理增加幅度大于常规 N 处理; 小麦季土壤不缺 P, 应更多关注水稻季 P 的施用。

参考文献

- 1 Sage RF, Coleman JR. Effects of low atmospheric CO₂ on plants: More than a thing of the past. *Trends in Plant Science*, 2001, 6 (1): 18 ~ 24
- 2 Chander K, Brookes PC. Plant inputs of carbon to metal-contaminated soil and effects on the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 1991, 23: 1169 ~ 1177
- 3 Van Ginkel JH, Gorissin A, Van Veen JA. Carbon and nitrogen allocation in *lolium perenne* in response to elevated atmospheric CO₂ with emphasis on soil carbon

dynamics. *Plant Soil*, 1997, 188: 299 ~ 308

- 4 Li FS, Kang SZ. Effects of atmospheric CO₂ enrichment, applied nitrogen and soil moisture on dry matter accumulation and nitrogen uptake in spring wheat. *Pedosphere*, 2002, 12 (3): 207 ~ 218
- 5 李伏生, 康绍忠. 两种氮水平下 CO₂ 浓度升高对冬小麦生长和氮磷浓度的影响. *土壤学报*, 2003, 40 (4): 599 ~ 605
- 6 刘钢, 韩勇, 朱建国, 冈田益己, 中村浩史, 吉本真由美. 稻麦轮作 FACE 系统平台 I. 系统结构与控制. *应用生态学报*, 2002, 13 (10): 1253 ~ 1258
- 7 Inubushi K, Brookes PC, Jenkinson DS. Soil microbial biomass C, N and ninhydrin-N in aerobic and anaerobic soils measured by the fumigation-extraction method. *Soil Biol. Biochem.*, 1991, 23: 737 ~ 741
- 8 Brooks PC, Powlson DS, Jenkinson DS. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1982, 14: 319 ~ 329
- 9 马红亮, 朱建国, 谢祖彬, 张雅丽, 刘钢, 曾青. 开放式空气 CO₂ 浓度升高对土壤可溶性 C、N 和 P 的影响. *土壤*, 2004, 36 (4): 392 ~ 397
- 10 鲁如坤主编. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 2000, 166 ~ 168

- 11 Cheng W, Inubushi K, Yagi K, Sakai H, Kobayashi K. Effects of elevated CO₂ on biological nitrogen fixation, nitrogen mineralization and carbon decomposition in submerged rice soil. *Bio. Fertil. Soils*, 2001, 34: 7 ~ 13
- 12 Hoque MM, Inubushi K, Miura S, Kobayashi K, Kim HY, Okada M, Yabashi S. Biological dinitrogen fixation and soil microbial biomass carbon as influenced by free-air carbon dioxide enrichment (FACE) at three levels of nitrogen fertilization in a paddy field. *Biol. Fertil. Soils*, 2001, 34: 453 ~ 459
- 13 Chan KY, Heenan DP. Microbial-induced soil aggregate stability under different crop rotations. *Biol. Fertil. Soils*, 1999, 30: 29 ~ 32
- 14 Wang XZ, Curtis PS, Vogel CS. Effects of soil fertility and atmospheric CO₂ enrichment on leaf, stem and root dark respiration of *Populus tremuloides*. *Pedosphere*, 2001, 11 (3): 199 ~ 208
- 15 马红亮, 朱建国, 谢祖彬. 大气 CO₂ 浓度升高对植物-土壤系统地下过程影响的研究. *土壤*, 2003, 35 (6): 465 ~ 472
- 16 Hu S, Chapin III FS, Firestone MK, Field CB, Chiariello NR. Nitrogen limitation of microbial decomposition in a grassland under elevated CO₂. *Nature*, 2001, 409: 188 ~ 191
- 17 Cardon ZG. Influence of rhizodeposition under elevated CO₂ on plant nutrition and soil organic matter. *Plant and Soil*, 1996, 187: 277 ~ 288
- 18 Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1995

EFFECT OF FACE (FREE AIR CARBON-DIOXIDE ENRICHMENT) ON AVAILABLE C, N AND P IN SOIL UNDER WHEAT TREATED WITH DIFFERENT N LEVELS

MA Hong-liang^{1,2} ZHU Jian-guo¹ XIE Zu-bin¹ ZHANG Ya-li¹ ZENG Qing¹ LIU Gang¹

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;*

2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*)

Abstract Effect of elevated atmospheric CO₂ on available C, N and P in the soil under winter wheat growing through FACE (free air carbon dioxide enrichment) system was studied, through comparison between FACE and the ambient in content of available C, N and P in the soil at different wheat growing stages. The results showed that elevated CO₂ decreased the content of soil available C in the 0~5 cm soil layer before the heading stage, but increased at the ripening stage. The effect of elevated CO₂ on soil available C differed between rice and winter wheat. Under LN and NN treatments, elevated CO₂ increased soil available N by 17.2% and 18.9% at the tillering stage, but decreased by 9.8%-63.0% at others stages and the most at the heading stage, up to 63.0% and 50.4%, respectively. The results indicate that it is necessary to increase N fertilizer application level to both rice and winter wheat growing under elevated [CO₂] condition. The content of soil available P increased due to elevated [CO₂], more in the LN treatment than in the NN treatment. The study indicates that growth of winter wheat will not restricted by soil P under elevated CO₂ condition.

Key words Elevated atmospheric CO₂, Winter wheat, Available soil C, N and P