氮肥与秸秆还田对陕西关中灌区冬小麦农田 CO_2 排放的影响

王少杰,高鹏程,林 文,杨宪龙,梁 婷,同延安
(西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

摘 要:利用静态暗箱-气相色谱法对陕西关中灌区不同氮素用量及秸秆还田处理(190 kg N·hm^{-2},N190;150 kg N·hm^{-2},N150;75 kg N·hm^{-2},N75;150 kg N·hm^{-2}+5000 kg·hm^{-2}秸秆,N150+S)下冬小麦农田 CO_2 排放及其影响因素进行研究。结果表明:农田 CO_2 排放通量呈明显的季节变化规律,且与温度的动态变化趋势相一致;各处理 CO_2 排放通量与大气温度和土壤温度均具有极显著的指数相关关系,且与大气温度相关性最好;全生长季各处理累积 CO_2 排放量顺序为:N150+S>N150≈N190>N75,在中低氮水平范围内 CO_2 排放量随施氮量增加而增加,秸秆还田增加了农田 CO_2 排放,排放量较不还田增加18%。

关键词:CO_2 排放;冬小麦;氮肥;秸秆还田;土壤温度
中图分类号:S154.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-7601(2013)01-0117-05

Effect of nitrogen fertilizer and straw returning on CO_2 emission in winter wheat field in irrigated region of central Shaanxi province

WANG Shao-jie, GAO Peng-cheng, LIN Wen, YANG Xian-long, LIANG Ting, TONG Yan-an
(*College of Environment and Resources, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: The CO_2 emission in winter wheat field in irrigated region of central Shaanxi province under different N rates and straw returning(190 kg N·hm^{-2},N190; 150 kg N·hm^{-2},N150; 75 kg N·hm^{-2},N75; 150 kg N·hm^{-2}+5000 kg·hm^{-2} straw,N150+S) was measured by using static chamber/gas chromatography methods, and the influence factors of CO_2 emission were analyzed. The results showed that the CO_2 flux fluctuated with the seasonal temperature change. There were highly significant exponential relationships between CO_2 flux and both soil and air temperature. The correlation coefficient between CO_2 flux and air temperature was higher than that between CO_2 flux and soil temperature in four treatments. The total CO_2 emission in the whole growing season could be ranked as: N150+S>N150≈N190>N75. The CO_2 emission increased with the rise of N application rate within low and moderate levels. Straw returning boosted CO_2 emission greatly, which was 18% higher than no straw.

Keywords: CO_2 emission; winter wheat; nitrogen fertilizer; straw returning; soil temperature

气候变化是当今全球性的环境问题,而人类生产和生活活动导致大气 CO_2 浓度增加是气候变化的主要原因之一,这一点已成为国内外共识。农业生产是受人类干扰最严重的领域之一,农田 CO_2 排放受到国内外研究者的普遍关注[1-2]。陆地生态系统碳循环对全球碳平衡起着极其重要作用[3-4],一方面,植物通过光合作用固定大气中的 CO_2;另一方面,植物和土壤的呼吸作用向大气释放 CO_2。农田生态系统是陆地生态系统中受人为活动影响最大,且碳循环最为频繁的一部分,研究农田生态系统 CO_2 排放对陆地生态系统碳循环及温室气体减排具有重要意义。目前,国内外学者针对农田 CO_2 排放及其影响因素做了大量研究,李琳等[5]在华北平原对不同耕作措施下土壤温度对农田 CO_2 排放的影响进行了研究,丁洪等[6]则在东北黑土地对施肥和不施肥两种情况下的 CO_2 排放做了研究,农田 CO_2 排

收稿日期:2012-02-22
基金项目:2012年公益性行业(农业)科研专项经费资助(201203039)
作者简介:王少杰(1987—),男,吉林辽源人,硕士研究生,主要从事施肥与环境方面研究。E-mail:shaojiewang72@163.com。
通信作者:同延安,教授,博士生导师。E-mail:tongyanan@nwsuaf.edu.cn。

万方数据

放在不同地区均得到一定的关注。冬小麦是我国北方主要粮食作物,农民生产过程中存在严重过量施肥现象[7],这不仅造成资源浪费,且导致严重的环境污染[8-9]。秸秆还田作为一种有效的秸秆利用方式,不仅能提高土壤有机质含量,改善土壤物理性状[10],而且还避免了因野外焚烧而排放大量CO_2[11]。本文根据关中地区氮肥施用现状设置优化施氮等不同氮水平和秸秆还田措施,对农田CO_2排放进行原位测定,旨在探讨施氮量和秸秆还田对农田CO_2排放的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验地位于陕西关中地区的杨凌"国家黄土肥力与肥料效益监测基地"(34°17′N,108°00′E)。该地海拔524.7 m,年均气温13℃,年均降水量约630 mm,主要集中在7—9月,小麦生长季降雨量为170 mm左右。土壤为塿土,种植制度为冬小麦/夏玉米轮作一年两熟。试验开始时耕层土壤基本理化性状如下:有机质含量为14.71 $g\cdot kg^{-1}$,pH值7.4,全氮0.8 $g\cdot kg^{-1}$,全磷0.5 $g\cdot kg^{-1}$,碱解氮59.9 $mg\cdot kg^{-1}$,速效磷9.6 $mg\cdot kg^{-1}$,速效钾191.2 $mg\cdot kg^{-1}$,容重1.2 $g\cdot cm^{-3}$。

1.2 试验设计

本研究是在2007年10月开始的长期定位试验基础上进行对CO_2的监测,监测期为2010年10月至2011年6月冬小麦季,共设4个处理,分别是:(1)农民习惯施氮(190 $kg\cdot hm^{-2}$,N190),(2)优化施氮(150 $kg\cdot hm^{-2}$,N150),(3)减量施氮(75 $kg\cdot hm^{-2}$,N75),(4)优化施氮+秸秆还田(150 $kg\cdot hm^{-2}$+5 000 $kg\cdot hm^{-2}$秸秆,N150+S)。每个处理重复3次,共12个小区,完全随机排列,小区面积5 m×6 m=30 m^2。冬小麦于2010年10月8日播种,2011年6月10日收获。小麦品种为小偃22,播种量120 $kg\cdot hm^{-2}$。磷肥用过磷酸钙($P_2O_5\geqslant16\%$),施用量P_2O_5 100 $kg\cdot hm^{-2}$,在播前一次性施入。氮肥用尿素($N\geqslant46\%$),分两次施入,播前施50%,拔节期施50%。不施钾肥。秸秆还田处理将上季玉米秸秆粉碎覆于地表,并于播前翻入土中约20 cm。

1.3 观测项目与方法

气体采集采用静态箱法。采样箱由带水槽的不锈钢底座和顶箱两部分组成,顶箱为长宽高均为50 cm的正方体,由不锈钢板制成,外包泡沫板保温,箱内装有两只风扇以混匀气体,另接温度探头和采气管。试验前将底座固定于每个小区中央,底座框内单独播种与施肥。气体排放通量的测定频率为每7 d一次,冬季当气温低于5℃时,降为每半个月一次。气体采集于每天上午8:30—10:30之间进行,采集气体时将顶箱盖于底座上,加水密封,分别于盖箱后的0、15、30 min用50 ml注射器抽取箱内气体50 ml,样品在注射器中保存,并于当天分析完毕,采用装有FID检测器和转化炉的气相色谱测定,CO_2分析柱为Porpak·Q填充柱,样品中CO_2在375℃通入H_2先经Ni催化转化为CH_4后再进入检测器分析。检测器工作温度为200℃,柱温80℃,载气为氮气,燃气为高纯氢和空气。气相色谱工作前采用标准气体进行校准。

每次采集气体样品的同时用便携式铂电阻数字温度计(JM624)测定箱内大气温度、地表温度以及地下10 cm温度,刚盖好采样箱时测定一次以及采完最后一针气体样品时再测定一次,取两次测定的平均值作为当天的温度值。降雨量及大气温度来自试验站内气象站。

土壤含水量采用烘干法,每半月测定一次;土壤有机碳测定采用重铬酸钾外加热法;植株含氮量采用$H_2SO_4-H_2O_2$消煮,CleverChem 200全自动间断化学分析仪测定。

1.4 计算方法与统计分析

气体排放通量采用直线回归法进行计算,冬小麦生长季的累积气体交换通量采用线性插值法进行计算。

CO_2通量的计算公式为:$F=\rho\times h\times\triangle c/\triangle t\times273/(273+T)$

式中,F为排放通量[$mg/(m^2\cdot h)$];ρ为标准状态下气体密度;h为采样箱高度(m);$\triangle c$为气体浓度差;$\triangle t$为时间间隔(h);$\triangle c/\triangle t$通过3个采样点数据作图的斜率可知;T为采样时箱内温度(℃)。

利用Excel和SPSS软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 小麦生育期CO_2排放通量动态变化

图1为小麦生长季农田CO_2排放动态,由图可知,在整个小麦生育期(2010年10月至2011年6月)内,CO_2排放通量具有明显的季节变化规律,各处理变化趋势基本一致。由于人工播种拉沟时对土壤具有一定的扰动,因此播种后土壤呼吸增强,具有较高的CO_2排放通量,而后逐渐降低。11月中旬出现一个小高峰,可能是由于麦苗生长旺盛,加之该时期的土壤和大气温度(10℃左右,图2)较适宜微生物活动与植株呼吸作用的综合结果。进入12月份

万方数据

至 2011 年 2 月,小麦处于越冬期,CO_2 通量维持在较低水平且无明显波动。2 月中旬随气温回升(图 2),小麦开始返青拔节,植株开始快速生长,植株以及根系呼吸作用增强。伴随着适宜的温度和水分,土壤微生物活性增强。两者共同促使整个系统 CO_2 排放量迅速上升。5 月份小麦进入成熟期,叶子逐渐枯黄,光合作用减弱,呼吸作用随之减弱,CO_2 排放量减小,但是由于进入 5 月份后温度较高,土壤呼吸强度大,因此 CO_2 通量仍维持在较高水平,说明释放于土壤的 CO_2 仍占较大比例,本研究结果与张绪成等[12]、孙文娟等[13]的研究结果一致。

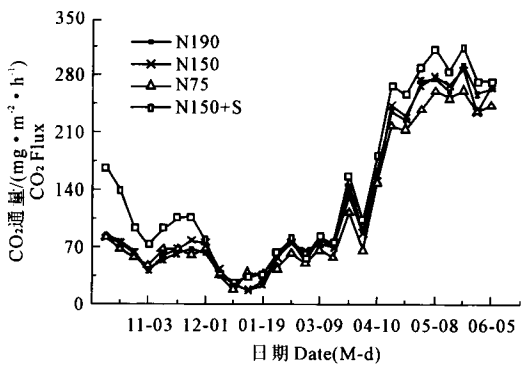

图 1　农田 CO_2 排放动态

Fig.1　Dynamics of CO_2 emission from farmland

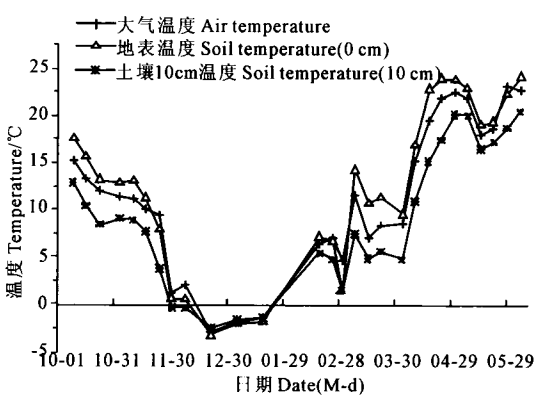

图 2　小麦生长期内大气和土壤温度动态变化

Fig.2　Dynamics of air and soil temperature

2.2　氮肥和秸秆还田对农田 CO_2 排放量的影响

采用线性插值法估算各处理全生育期 CO_2 排放总量,如图 3 所示。整个生长季内处理 N150 + S 的 CO_2 排放总量最高,显著高于其他处理,N75 排放总量最低。比较 3 个施氮水平(N190、N150、N75)CO_2 季节排放总量,施氮量大于 150 kg/hm^2 时其 CO_2 排放量显著高于施氮量 75 kg/hm^2 的处理,而 N150 与 N190 处理间无明显差异,说明在一定范围内增加施氮量使 CO_2 排放通量升高,但达到某一限度后再继续增加施氮量,CO_2 排放量不再增加。随着施氮水平提高,生物量、产量及植株氮含量均显著增加,有机碳含量也有所增加(表 1),说明合理氮肥施用在作物增产方面具有重要作用,对土壤培肥也有一定作用。比较 N150 与 N150 + S 处理的 CO_2 季节排放总量,秸秆还田显著增加农田 CO_2 排放。由于该试验已经进行了 3 年 6 季作物(小麦/玉米轮作),不同处理的土壤肥力基本稳定,秸秆还田提高了土壤有机碳含量(表 1),另外秸秆还田处理显著增加了小麦生物量、产量以及植株氮含量。

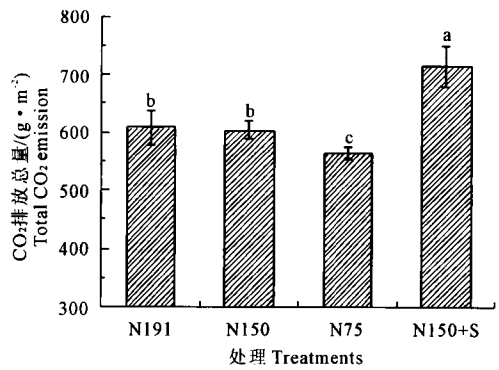

图 3　小麦生育期内农田 CO_2 排放总量

Fig.3　Total CO_2 emission from farmland during the growth of winter wheat

表 1　冬小麦生物量、产量、植株氮含量及土壤有机碳

Table 1　The biomass, yield and plant N content of winter wheat and the soil organic carbon

处理 Treatments	生物量 Biomass /(kg·hm^{-2})	籽粒产量 Grain yield /(kg·hm^{-2})	植株氮含量 Plant N content/%	有机碳 Organic carbon /(g·kg^{-1})
N190	13574.5 ± 353b	7112 ± 192b	1.45 ± 0.03a	8.82 ± 0.54ab
N150	12548.7 ± 519c	6162 ± 237c	1.37 ± 0.02b	8.53 ± 0.55ab
N75	9845.1 ± 493d	5021 ± 119d	1.06 ± 0.02c	7.88 ± 0.35b
N150 + S	14768.9 ± 357a	8049 ± 373a	1.47 ± 0.04a	9.13 ± 0.49a

注:同列数字后不同小写字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Values in the same column with different letters show significant difference at 5% level.

2.3　温度对农田 CO_2 排放的影响

温度是影响土壤呼吸的重要因子[10,14]。由图 1、2 可以看出,大气温度、地表温度和土壤 10 cm 温度均与生长季内农田 CO_2 排放具有相同的变化趋势。12 月至 2 月温度较低,小麦处于越冬期,CO_2 排放通量较低,随着进入 3 月,温度上升,CO_2 通量亦随之升高。对各处理与大气温度、地表温度和土壤 10 cm 温度做相关性分析,发现 CO_2 排放通量与各温度均呈极显著的指数相关关系(表 2),且各处理与大气温度的相关性最好,与地表温度的相关性最差。

万方数据

表2 各处理 CO_2 排放通量与温度相关性分析

Table 2 Correlation analysis between CO_2 emission fluxes and temperature

处理 Treatments	气温 Air temperature		地表温度 Soil temperature (0cm)		土壤10cm温度 Soil temperature (10cm)	
	模拟方程 Simulated equation	R^2	模拟方程 Simulated equation	R^2	模拟方程 Simulated equation	R^2
N190	$y=32.18e^{0.092x}$	0.821**	$y=33.52e^{0.082x}$	0.792**	$y=38.34e^{0.099x}$	0.806**
N150	$y=33.03e^{0.091x}$	0.807**	$y=34.72e^{0.080x}$	0.764**	$y=39.46e^{0.097x}$	0.782**
N75	$y=32.85e^{0.086x}$	0.824**	$y=34.33e^{0.076x}$	0.785**	$y=38.22e^{0.093x}$	0.832**
N150+S	$y=41.69e^{0.089x}$	0.897**	$y=42.99e^{0.080x}$	0.881**	$y=49.40e^{0.095x}$	0.877**

注：*代表 $P<0.05$；** 代表 $P<0.01$。

Note: * means $P<0.05$; ** means $P<0.01$.

3 讨 论

3.1 氮肥和秸秆还田对农田 CO_2 排放的影响

氮肥的施用通过影响作物地下、地上部的生长和C/N来影响农田 CO_2 排放。在本研究中，比较3种不同施氮量N75、N150、N190处理的全生育期累积 CO_2 排放量得出，N75处理的累积排放量显著低于另外两处理。一方面N75处理土壤中氮素的不足影响土壤微生物活性，另一方面，氮素不足导致小麦生物量降低，暗呼吸作用减弱。随着氮肥施入量的增加，降低了土壤中C/N，促进了微生物增殖并分解更多有机质，从而增加土壤有机质中碳的分解和释放。另外本试验采集 CO_2 采用静态暗箱法，因此测得的 CO_2 通量包括作物暗呼吸、植物根系呼吸、根际微生物呼吸及有机碳分解，有研究表明，作物暗呼吸与植株氮含量存在显著正相关关系[14-16]。本研究结果表明，随着施氮量增加植株氮含量显著增加，这一点可以解释增加施氮量使 CO_2 排放量增加。N150和N190处理之间无显著差异，说明并非施氮量越高，CO_2 释放越多。

秸秆还田是提高土壤肥力的一种有效方式，不仅能减少因焚烧而产生的大量 CO_2、CO 等污染物质，还可以增加产量。吕美蓉等[17]对少免耕及秸秆还田与小麦产量的关系进行研究，结果表明秸秆还田的籽粒产量及其构成因素均高于无秸秆还田。而刘世平等[18]对稻麦两熟条件下不同土壤耕作方式与秸秆还田效用进行分析得出，麦季秸秆覆盖由于影响小麦出苗而平均减产1%左右。这可能是由于耕作方式对秸秆还田效用产生了一定影响。本试验全部为旋耕处理，在同氮素水平下秸秆还田使产量增加30%，有机碳含量由试验开始前的8.53 g/kg增加到9.13 g/kg，增加了7%，这说明秸秆还田在培肥土壤、固碳方面具有重要作用。秸秆还田后分解释放出大量 CO_2，研究表明，秸秆还田当年，约30%植物碳残留于土壤中，即减少了约1/3的 CO_2 排放[19]。本研究中，秸秆还田处理的 CO_2 季节排放总量较相同施氮水平下秸秆不还田处理增加18%，一方面由于还入农田的秸秆本身腐解产生大量 CO_2，在小麦生长初期表现尤为明显(图1)；另一方面秸秆还田显著提高小麦生物量和植株氮含量(表1)，植株生长旺盛，光合作用和呼吸作用随之增强，植株暗呼吸速率增强，因此释放较多 CO_2；此外，秸秆还田还提高土壤有机碳含量，分解出更多的 CO_2。我国仅粮食作物每年产生秸秆4.9亿t[20]，其中有19%的秸秆被焚烧，释放到大气中的 CO_2 为1.07亿t。与之相比，秸秆还田极大减少了 CO_2 的排放，有利于环境的保护。

3.2 温度对农田 CO_2 排放的影响

温度不仅影响土壤微生物活性和有机质的分解，而且也影响地上作物光合作用及其产物向地下的输送和作物根系的呼吸，同时还影响着土壤中气体的传输和与大气的交换[21]。本试验研究表明大气、地表、土壤10 cm温度与 CO_2 通量均具有良好的指数相关关系，且各处理与大气温度相关性最好。陈述悦、刘允芬等[22-23]研究发现，5 cm地温同土壤呼吸相关性最好。国外学者通过长期观测得出温度和土壤呼吸的定量关系，提出土壤5 cm和10 cm温度与 CO_2 排放速率的相关性要比地表温度好[5]。这可能是因为本研究所测得 CO_2 排放为整个土壤-作物系统的 CO_2 排放量，包括了作物地上部分的暗呼吸作用，并且这一部分占有较大比例，孙文娟等[13]采用逐步收割法对土壤-小麦系统 CO_2 排放进行了研究，并测定和计算了土壤表观呼吸、有机质分解的异养呼吸和植株暗呼吸各自所排放的 CO_2 量，得出植株暗呼吸的 CO_2 通量占整个土壤-小麦系统 CO_2 排放通量的55%左右。而作物暗呼吸与气温关系更为密切，温度在影响植物根系呼吸和土壤微生物活动的同时，也影响着植物的呼吸作用，白天随着温

万方数据

度升高,光合作用增强,与其密切相关的呼吸作用也增强,排放出更多的 CO_2。

4 结　论

农田 CO_2 排放速率具有明显的季节变化规律,且与温度的动态变化相一致。从全生长季排放总量来看,N150 + S > N190 ≈ N150 > N75,在一定范围内增施氮肥促进 CO_2 排放,但达到一定限度继续增 N,CO_2 排放不再增加。秸秆还田显著增加农田 CO_2 排放,排放总量较同氮素水平下无秸秆还田处理相比增加 18%。大气、地表、土壤 10 cm 温度均与 CO_2 通量具有极显著的指数相关关系,且与大气温度的相关性最好。

参 考 文 献:

[1] 张　宇,张海林,陈继康,等.耕作措施对华北农田 CO_2 排放影响及水热关系分析[J].农业工程学报,2009,25(4):47-53.

[2] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. Science, 2004,304(11):1623-1627.

[3] Schimel DS. The carbon equation[J]. Nature, 1998,393:208-209.

[4] Valentini R, Matteuccl G, Dolman AJ, et al. Respiration as main determinant of carbon balance in European forests[J]. Nature, 2000, 404:861-865.

[5] 李　琳,陈　阜.不同耕作措施下冬小麦生长季农田二氧化碳排放通量及其与土壤温度的关系[J].应用生态学报,2007,18(12):2765-2770.

[6] 丁　洪,王跃思,王德禄.东北黑土中 CO_2 和 CH_4 的排放量[J].农业环境科学学报,2003,22(6):720-723.

[7] 同延安,Ove Emteryd, 张树兰,等.陕西省氮肥过量施用现状评价[J].中国农业科学,2004,37(8):1239-1244.

[8] 吉艳芝,巨晓棠,刘新宇,等.不同施氮量对冬小麦田氮去向和气态损失的影响[J].水土保持学报,2010,24(3):113-118.

[9] 尹晓芳,同延安,张树兰,等.关中地区小麦/玉米轮作农田硝态氮淋溶特点[J].应用生态学报,2010,21(3):640-646.

[10] 武志杰,张海军,徐广山,等.玉米秸秆还田培肥土壤的效果[J].应用生态学报,2002,13(5):539-542.

[11] 曹国良,张小曳,王亚强,等.中国区域露天秸秆露天焚烧排放量的估算[J].科学通报,2007,52(15):1826-1831.

[12] 张绪成,上官周平.施氮对不同抗旱性冬小麦叶片光合与呼吸的调控[J].应用生态学报,2006,17(11):2064-2069.

[13] 孙文娟,黄　耀,郑循华,等.作物生长与含氮量对土壤-作物系统 CO_2 排放的影响[J].环境科学,2004,25(3):1-6.

[14] Luo Y, Wan S, Hui D, et al. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie[J]. Nature, 2001,413:622-625.

[15] Reich PB, Walters MB, Ellswort DS, et al. Relationships of leaf dark respiration to leaf nitrogen, specific leaf area and leaf life-span: a test across biomes and functional groups[J]. Oecologia, 1998,114:471-482.

[16] Lusk CH, Reich PB. Relationships of leaf dark respiration with light environment and tissue nitrogen content in Juveniles of 11 cold-temperate tree species[J]. Oecologia, 2000,123:318-329.

[17] 吕美蓉,李增嘉,张　涛,等.少免耕与秸秆还田对极端土壤水分及冬小麦产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):41-46.

[18] 刘世平,聂新涛,张洪程,等.稻麦两熟条件下不同土壤耕作方式与秸秆还田效用分析[J].农业工程学报,2006,22(7):48-51.

[19] 杨志谦,王维敏.秸秆还田后碳、氮在土壤中的积累与释放[J].土壤肥料,2001,5:33-36.

[20] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等.中国农作物秸秆资源及其利用现状[J].农业工程学报,2002,18(3):87-91.

[21] 谢军飞,李玉娥.农田温室气体排放机理与影响因素研究进展[J].中国农业气象,2002,23(4):47-52.

[22] 陈述悦,李　俊.华北平原麦田土壤呼吸特征[J].应用生态学报,2004,15(9):1552-1560.

[23] 刘允芬.西藏高原农田土壤 CO_2 排放研究初报[J].自然资源学报,1998,13(2):181-186.

(上接第 70 页)

[8] 姚　霞,李　伟,颜泽洪,等.AMMI 模型在小麦区域试验产量组成性状分析中的应用[J].麦类作物学报,2005,25(6):103-107.

[9] 张体刚,李芝凡,胥　岚,等.AMMI 模型在油菜品种区域试验中的应用[J].四川农业大学学报,1999,17(2):172-175.

[10] 刘文江,李浩杰,汪旭东,等.用 AMMI 模型分析杂交水稻基本性状的稳定性[J].作物学报,2002,28(4):569-573.

[11] 吴渝生,李本逊,顾红波,等.甜玉米品种稳定性的 AMMI 模型分析[J].华中农业大学学报,2003,22(1):4-8.

[12] 刘　伟,朱列书,朱静娴,等.基于 AMMI 模型的烤烟品种丰产性和稳定性评价[J].作物研究,2011,25(4):327-330.

[13] 高金锋.荞麦品种稳定性与适应性分析及评价研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.

[14] 张志芬,付晓峰,刘俊青,等.裸燕麦区域试验中地点鉴别力和育成品种稳定性分析[J].麦类作物学报,2010,30(3):515-519.

[15] 张志芬,付晓峰,刘俊青,等.用 GGE 双标图分析燕麦区域试验品系产量稳定性及试点代表性[J].作物学报,2010,36(8):1377-1385.

万方数据