

克拉玛依造林减排项目 GHG 减排量计算

夏永辉 (中国克拉玛依职业技术学院, 新疆克拉玛依 834000)

摘要 [目的]计算克拉玛依造林减排项目 GHG 减排量。[方法]在林内设置 2 个固定样地, 48 个随机样地; 在林缘外荒漠环境下设置 1 个固定样地, 4 个随机样地, 分别计算人工林碳储量、荒漠碳储量、人工林内增加的温室气体排放量和泄漏, 从而计算该项目的 GHG 减排量。[结果]2001~2009 年, 克拉玛依造林减排项目 GHG 减排量为 432 751.59 tCO₂, 年均 GHG 减排量为 54 093.95 tCO₂。[结论]克拉玛依造林减排项目减排效果显著, 表明在干旱区实施造林减排项目是可行的。该研究为干旱区造林减排项目开发和管理提供了基础资料, 并为相关政策的判定提供了依据。

关键词 GHG 减排量; 造林减排项目; 克拉玛依

中图分类号 S718.5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)17-195-04

Caculation of GHG Emission Reduction of an Afforestation Carbon Sequestration Project in Karamay

XIA Yong-hui (Karamay Vocational and Technical College, Karamay, Xinjiang 834000)

Abstract [Objective] The aim was to calculate the GHG emission reductions of the Karamay afforestation emissions project. [Method] Setting 2 fixed plots and 48 random plots in the planted forest, 1 fixed plots and 4 random plots in the desert environment which beyond the forests, carbon storage both in the planted forest and the desert environment were calculated, as well as the increased greenhouse gas emission load and leakage. The GHG emission reductions of the project was obtained. [Result] From 2001 to 2009, the GHG emission reduction was 432 751.59 tCO₂, the annual GHG emission reduction was 54 093.95 tCO₂. [Conclusion] The reduction effect of the project is remarkable, which shows that it is feasible to carry out forestation emissions project in arid region. The study can provide the basis data for development and management of afforestation carbon sequestration projects in arid region, also provide the reference for relevant policy-making.

Key words GHG emission reduction; Afforestation carbon sequestration project; Karamay

人工林是目前各国用来提高森林覆盖率, 实施碳减排计划最主要的媒介之一, 其在评价森林对陆地碳汇的贡献中意义重大^[1]。造林及合理的人工林经营都可以成为固定大气中 CO₂、防止全球气候变暖的有效途径, 人工林的碳汇作用被认为是减缓全球气候变化的一种可能机制。通过造林增加森林碳汇量是世界公认的一种经济有效地解决 CO₂ 上升的办法^[2], 是清洁发展机制(CDM, clean development mechanism)中主要途径之一, 其对于减缓全球变暖具有重要意义。我国一些学者对不同区域、不同造林树种的人工林碳汇效应、碳汇潜力以及碳汇功能进行了相关研究^[3]。但上述研究大多仅代表造林活动形成新生植被的显性碳汇量^[4], 而未被证明具有额外性。克拉玛依造林减排项目位于我国西北内陆干旱区, 笔者以其为研究对象, 参考清洁发展机制造林再造林项目核证减排量(CERs, certified emission reductions)的计算方法, 计算其温室气体(GHG, greenhouse gas)减排量, 以期为我国干旱区造林碳汇项目开发和管理提供基础资料, 为政策决策提供依据。

1 项目概况及研究方法

1.1 项目概况 项目区距克拉玛依市区东南约 20 km, 地理坐标为 84°58'~85°04' E, 45°22'~45°31' N, 地处准噶尔盆地西北边缘的湖积平原。该地区属典型的大陆性干旱荒漠气候, 年平均气温 8℃, 年平均降水量 105.3 mm, 全年蒸发潜力 3 545 mm, 无霜期 180~220 d, 土壤以棕漠土、灰棕漠土为主, 植物种类贫乏, 生长稀疏, 植被类型受环境影响, 以旱生、超旱生、耐盐碱的荒漠植被为主, 地下水水位在 4~10 m, 地下水化学类型为 Cl-SO₄-Na 型水和 Cl-Na 型水, 矿化度 4.71~

24.04 g/L, 属不可利用的咸水。

克拉玛依造林减排项目于 2001 年开始实施, 造林活动集中在 2001~2002 年, 造林面积 2 997.77 hm², 造林树种比较单一, 其中俄罗斯杨约占 95%, 新疆杨约占 5%。林地集中在同一地块上, 地势十分平坦, 共分 10 个支渠, 不同支渠由不同的单位经营管理, 林地造林前为荒漠, 植物种类贫乏, 生长稀疏。林地东侧和南侧林缘外目前仍为荒漠, 基本未受人类活动干扰。

1.2 研究方法

1.2.1 GHG 减排量计量。在造林减排项目中, 植被生长能够固定大气中 CO₂, 同时也会隐藏一些负效应^[4], GHG 减排量即是将这些负效应给予剔除后的由于该活动而产生的净碳汇量。造林项目活动涉及基线、温室气体源排放和泄露等问题, 因此项目实际产生的净碳汇量等于项目碳储量变化量减去项目活动在项目边界内增加的排放量, 减去基线碳储量变化量, 再减去泄漏(即该项目活动在项目边界外增加的 GHG 排放量)^[5]。根据克拉玛依造林减排项目区的实际情况, 将人工林外广袤荒漠地带作为对照, 对 GHG 减排量进行研究, 并假设项目期内荒漠碳储量保持不变(即基线碳储量变化量为 0)。GHG 减排量 = 人工林碳储量 - 相同面积下荒漠碳储量 - 人工林内增加的温室气体排放量 - 泄漏。

1.2.2 碳储量研究。

1.2.2.1 样地设置。各碳库碳储量及其变化受气候、立地条件(地形、坡位、坡向、土壤类型、土层厚度)、造林树种、造林时间以及经营模式(种植方式、施肥情况、间伐、主伐)等多重因素的影响, 而呈现出较大的空间变异性。在进行碳储量计量和监测时, 应将项目区划分为若干相对均一的同质单元, 分层监测各碳库的碳储量, 在达到监测精度的同时降低监测成本。根据克拉玛依造林减排项目实际情况, 笔者在六

作者简介 夏永辉(1965-), 男, 安徽宿州人, 讲师, 从事自然地理研究。

收稿日期 2016-05-12

支渠和八支渠各建立1个固定样地,样地规格为100 m × 100 m;分支渠进行随机抽样,建立随机样地,样地规格为20 m × 20 m,共48个;在人工林东侧林缘外约1 km处荒漠环境下,选出具有代表性的灌木群落,设置固定样地1个,规格为100 m × 100 m;在人工林南侧林缘外荒漠环境约300 m处选择随机样地4个,规格为20 m × 20 m;在每个样地内按对角线布设5个1 m × 1 m样方。该研究样地调查时间为2009年8月。

1.2.2.2 试验材料采集与处理。对人工林内每个样地每木检尺,根据所有样地数据,选取俄罗斯杨、新疆杨标准木各3株,采用全挖法挖根。分别对各伐倒木的器官(干、干皮、枝、叶、根)进行取样,其中树干和树皮采用分层切割法,以1 m为区分段作树干解析,称出所有树干分段的鲜重,每段木(大、小头)各取5 cm样品称鲜重,带回实验室烘干后测定带皮和去皮干重,求得含水率及树皮占各树干分段干重的百分率,由此推算整株标准木树干及树皮干重;分层测定所有树枝和树叶的湿重,分层混合后选取部分树枝和树叶带回实验室烘干,求得含水率,推算整株标准木树枝及树叶干重;挖取所有主根、侧根及直径大于2 mm的细根,称湿重,各取少量样品带回实验室烘干,求得含水率,推算根系干重。

在样地中每个小样方内,采用收获法收集样方内所有灌木(干、枝、叶、根)、草本(叶、根)和凋落物,称湿重,选取少量样品带回实验室烘干,计算含水率,推算灌木、草本和凋落物干重。

在每个样地内按对角线布设5个土样采样点,挖掘土壤剖面分层(0~10、10~30和30~50 cm)采取土壤,将土层充分混合后,用四分法分别取200~300 g土壤样品,去除全部直径大于2 mm石砾、根系和其他死有机残体,带回实验室风干、粉碎,过2 mm筛,测定土壤有机碳含量。同时每个采样点,用环刀分层各取原状土壤1个,称土壤湿重,估计直径大于2 mm石砾、根系和其他有机残体的体积百分比。每个采样点每层取1个混合土样,带回室内105℃烘干至恒重,测定土壤含水率。计算环刀内土壤的干重和各土层平均容量。

1.2.2.3 样品含碳率测定。由于植被类型的多样性和各地区植物种类的差异,使得同一类型植被或同一区域植物碳储量差异较大,存在着不一致性^[6]。植被含碳率的测定方法有干烧法和湿烧法2种,其中干烧法需要特殊仪器设备,过程繁琐;湿烧法即重铬酸钾-硫酸氧化法操作简便、快速^[7]。该研究中样品含碳率采用重铬酸钾-硫酸氧化法测定;植被各组分平均含碳率采用算数平均法计算;土壤含碳率采用重铬酸钾-稀释热法测定。

1.2.2.4 生物量估算。通过获取的标准木数据,分别建立俄罗斯杨和新疆杨各器官生物量与胸径、树高的回归方程,利用所建立的回归方程对乔木层各器官进行生物量估算,采用收获法估算灌木层、草本层、凋落物层生物量。

1.2.2.5 植被层碳储量计算。根据样地资料、植被各组分含碳率,利用公式(I)计算单株乔木碳储量,累加样地内所有

乔木得到样地内乔木层总碳储量,再除以样地面积即为各样地乔木层碳密度;采用收获法估算灌木层、草本层、凋落物层生物量,乘以相应的含碳率即得到各样方灌木层、草本层、凋落物层碳密度(样方面积为1 m²)。利用式(II)计算各支渠乔木层、灌木层、草本层、凋落物层平均碳密度,最后乘以各支渠面积得到乔木层、灌木层、草本层、凋落物层碳储量。荒漠灌木层、凋落物层碳储量计算与上述方法一致。

$$D = \sum B_i W_i \quad (\text{I})$$

式中, D 为单株乔木的碳储量(kg C); B_i 为该乔木第*i*种器官生物量(kg); W_i 为第*i*种器官含碳率。

$$\bar{D}_c = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n D_{ck} \times 10 \quad (\text{II})$$

式中, \bar{D}_c 为某支渠乔木层(灌木层、草本层、凋落物层)碳密度(t C/hm²); n 为某支渠样地(样方)数量; D_{ck} 为某支渠第*k*样地(样方)乔木层(灌木层、草本层、凋落物层)碳密度(kg C/m²)。

1.2.2.6 土壤碳储量计算。土壤碳储量为土壤碳密度与面积的乘积,采用下式计算土壤碳密度:

$$C = \sum_{i=1}^k [SOCC_i \cdot BD_i \cdot (1 - F_i) \cdot Depth_i] \quad (\text{III})$$

式中, C 为单位面积土壤碳储量(t C/hm²); $SOCC_i$ 为*i*土层土壤含碳率; BD_i 为*i*土层土壤容重(g/cm³); F_i 为*i*土层直径大于2 mm石砾、根系和其他死有机体的体积百分比; $Depth_i$ 为各土层厚度。

1.2.3 增加的温室气体排放量测定。引起人工林内温室气体排放量增量的活动主要包括火灾、整地、采伐、施肥以及间种固氮灌木或农作物等。根据克拉玛依造林减排项目实际情况,该项目2001~2009年间不存在火灾、施肥和间种固氮灌木或农作物等引起温室气体排放量增量的活动,该项目增加的温室气体排放量主要来自造林过程中涉及的整地及在对其进行灌溉、伐木等相关经营管理活动时使用机械设备、消耗化石燃料,从而产生的温室气体。在计量化石燃料引起的温室气体排放时不考虑与造林活动间接相关的上游(如肥料生产等)和下游(如木材加工等)生产活动引起的化石燃料的排放,也不考虑燃烧过程中伴随着的非CO₂温室气体(CH₄、N₂O)以及其他污染气体(CO、NMVOCs、SO₂、NO_x等)的排放,只考虑CO₂的排放^[5]。其计算采用下列方法:统计使用的化石燃料的种类和耗用量,根据各种化石燃料的CO₂排放因子计算对应的CO₂排放量,最后累加得到总CO₂排放量。计算公式如下:

$$ET_{FC} = \sum_{i=1}^j FC_i \cdot EF_{CO_2} \cdot NCV_i \quad (\text{IV})$$

式中, ET_{FC} 为化石燃料燃烧引起的温室气体排放量(t CO₂); FC_i 为*i*类燃料消耗量(tCO₂); EF_{CO_2} 为*i*类燃料CO₂排放因子(tCO₂/GJ); NCV_i 为*i*类燃料热值(GJ/tCO₂)。

1.2.4 泄漏测定。泄漏指由于该人工林活动而引起的人工林外的温室气体源排放增量。林业碳汇项目引起泄漏的原因可以分为政策泄漏、市场泄漏、人为泄漏和自然泄漏。国内一些学者认为,我国造林再造林项目基本上不存在政策和市

场泄漏等问题,同时政策泄漏、市场泄漏、自然泄漏不确定性较大,对其准确量化需要投入大量的成本^[8]。该研究对于泄漏只计量人工林林外由于该项目涉及的运输工具的使用而引起化石燃料燃烧所排放的温室气体量,采用公式(IV)计算。

2 结果与分析

2.1 碳储量变化 克拉玛依造林减排项目人工林内几乎没有灌木存在,枯死木也会被及时清除,该研究中人工林碳储量只计量乔木层、草本层、凋落物层和土壤碳储量。荒漠中

没有乔木存在,草本极少,梭梭、怪柳、白刺等灌木占 99% 以上,荒漠中碳储量只计量灌木层、凋落物层和土壤碳储量。国内外对土壤碳储量的研究大多是以 1 m 深度作为参照标准的,而大多数土壤中,人类管理活动对深层土壤的影响要比对表层(30 cm)的影响小得多^[9],考虑到该研究侧重于碳储量变化情况,因而只计量地表 50 cm 深的土壤碳储量。克拉玛依造林减排项目人工林和荒漠碳库碳储量分布情况见表 1、图 1,克拉玛依造林减排项目碳储量变化量见表 2。

表 1 克拉玛依造林减排项目人工林碳储量分布

Table 1 The distribution of carbon stock in artificial plantation of Karamay afforestation carbon sequestration project

支渠 Branch canal	土壤平均碳密度 Soil average carbon density t C/hm ²	乔木层平均碳密度 Average carbon density of tree layer t C/hm ²	草本层平均碳密度 Average carbon density of herb layer//t C/hm ²	凋落物层平均碳密度 Average carbon density of litter layer//t C/hm ²	合计 Total t C/hm ²	面积 Area hm ²	碳储量 Carbon storage t C
一	33.90	16.33	1.42	2.30	53.95	314.17	16 949.14
二	32.60	19.17	0.95	2.38	55.10	319.38	17 598.01
三	24.00	38.10	0.27	1.24	63.61	194.49	12 371.39
四	21.80	23.45	0.79	1.34	47.38	404.57	19 168.44
五	30.30	25.80	0.62	1.74	58.46	349.02	20 403.56
六	26.30	14.23	0.82	1.89	43.24	353.00	15 263.75
七	29.10	18.08	0.89	1.87	49.94	280.62	14 014.19
八	30.50	12.54	0.46	2.99	46.49	131.94	6 134.01
九	36.00	32.21	0.46	1.45	70.12	316.09	22 164.45
十	28.60	20.27	0.82	1.68	51.37	334.49	17 182.99

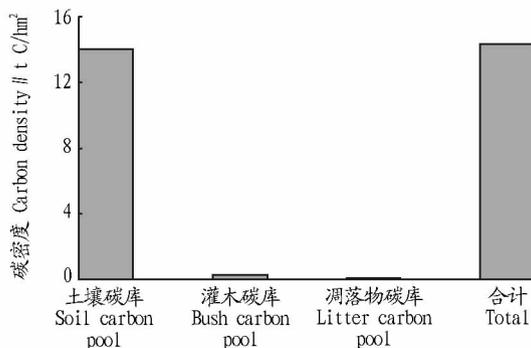


图 1 克拉玛依造林减排项目荒漠碳库碳密度

Fig. 1 The distribution of carbon stock in desert of Karamay afforestation carbon sequestration project

表 2 克拉玛依造林减排项目碳储量变化

Table 2 The change of carbon stock in Karamay afforestation carbon sequestration project

碳库 Carbon pool	人工林碳储量 Artificial forest carbon storage	相同人工林面积 下荒漠碳储量 Desert carbon storage under the same artificial forest area	变化量 Change quantity
植被碳库 Vegetation pool	73 705.20	989.26	72 715.94
土壤碳库 Soil carbon pool	87 544.73	41 968.78	45 575.95
汇总 Summary	161 249.93	42 958.04	118 291.89

由表 1 可知,人工林内各支渠各层碳密度均有较大的差异,其主要原因可能是各支渠经营管理模式不同。如三支渠和九支渠的种植方式为单沟双植 4.50 m × 0.75 m × 0.50 m,植株密度大,新疆杨和俄罗斯杨混交,林分生物量较大,此

外,三支渠和九支渠大部分属于示范园区,在经营管理方面较其他支渠投入更多,因此这 2 支渠乔木层具有较高碳密度。

一些学者在估算造林对陆地碳汇的影响时,认为人工林生物量中积累的碳远比积累在土壤中的碳要多得多,而很少将土壤碳吸收包括在内。从该研究结果看,由于造林积累在土壤中的碳与积累在生物量中的碳相比差距并不大,其原因可能与造林前土壤环境有关,造林区土壤贫瘠、有机质含量较低(土壤平均碳密度为 14.00 tC/hm²),其土壤碳积累潜力大,土壤碳储量有很大的提升空间。由表 2 可知,克拉玛依造林减排项目碳储量增加量为 118 291.89 tC,折合 433 736.93 tCO₂,表现出了较强的碳汇效应。

2.2 增加的温室气体排放和泄漏 克拉玛依造林减排项目增加的温室气体排放和泄漏只计量由于化石燃料燃烧引起的 CO₂ 排放,燃料 CO₂ 排放因子及燃料热值采用《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》缺省值^[10]。根据克拉玛依造林减排项目管理方统计资料,按公式(IV)计算结果为:2001~2009 年,由于化石燃料燃烧导致的 CO₂ 排放量为 985.34 t。

2.3 GHG 减排量 根据 GHG 减排量计算公式可得 2001~2009 年克拉玛依造林减排项目 GHG 减排量为 432 751.59 tCO₂,年均 GHG 减排量为 54 093.95 tCO₂。

3 结论与讨论

(1) 根据克拉玛依造林减排项目实际情况,该研究在选择计量碳库时有所取舍,对研究结果造成了一定影响。2001~2009 年克拉玛依造林减排项目 GHG 减排量为 432 751.59

tCO₂, 年均 GHG 减排量为 54 093.95 tCO₂, 对于实施区域减排效果显著。该研究为干旱区造林碳汇项目开发积累了一定的基础数据, 能够为相关研究和政策决策提供参考依据。

(2) 由于项目区特定的气候、地理、土壤、水资源等自然环境因素, 与其他学者类似研究相比, 该人工林内生物量和碳储量总体较低, 但是个别支渠相差不大, 甚至偏高, 这主要是受经营管理模式的影响。从碳汇角度考虑, 应该努力寻求适当的种植模式与经营管理方式, 逐步使林分种类和结构多样化, 摆脱目前树种单一, 结构和功能不完整、不稳定, 病虫害频发, 用水方式粗放, 碳汇功能得不到充分提升的状况, 最大限度地提高减排效益。

(3) 克拉玛依造林减排项目位于我国西北内陆干旱区。就该研究结果看, 在干旱区实施造林减排项目具有较好的碳汇效益, 此外造林减排项目的实施还兼有其他生态、社会和经济等效益。考虑到我国林业生产力布局和六大工程的实施情况, 特别是保障我国国土生态安全以及西部地区生态环境建设的需要, 应该推荐和支持发达国家投资者到我国西部生态脆弱地区实施造林减排项目^[11]。但另一方面, 由于干旱区特殊的自然环境因素, 其造林成本可能更高, 如何客观评价在干旱区实施的造林减排项目尚是一个较为复杂的课题。

(上接第 158 页)

结果一致。

(5) 综上, 陕南地区的小麦应当选择在拔节期追肥, 增产效果最明显, 氮肥的贡献率最大。同时, 应当合理选择追肥量, 并不是越多越好。

参考文献

- [1] 张伟, 李鲁华, 吕新. 不同施氮量对滴灌春小麦根系时空分布、氮素利用率及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(2): 195-202.
- [2] 陈磊, 郝明德, 张少民, 等. 黄土高原旱地长期施肥对小麦养分吸收和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 230-235.
- [3] 袁新民, 杨学云, 同延安, 等. 不同施氮量对土壤 NO₃⁻-N 累积的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(1): 8-13.
- [4] ARVIND K S, JAGDISH K L, SINGH V K, et al. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a system perspective [J]. Agronomy J, 2004, 96: 1606-16211.

(4) 碳汇造林是一种动态极强的系统, 在系统结构和功能上, 具有高度的时空异质性^[6], 其碳汇效应受多方面因素的影响, 全面评价造林减排项目需要长期进行, 今后需要继续跟踪调查, 以尽可能地反映实际情况。

参考文献

- [1] FANG J Y, CHEN A P, PENG C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science, 2001, 292(25): 2320-2322.
- [2] 相震, 吴向培. 森林碳汇减排项目现状及前景分析[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(2): 94-95.
- [3] 邢尚均, 杜立民, 翟建平, 等. 黄河三角洲人工林碳汇效应研究[J]. 山东林业科技, 2009(3): 5-8.
- [4] 陈先刚, 赵晓惠, 陆梅. 造林再造林项目碳汇能力有效性判别[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(10): 99-101.
- [5] 武曙红, 张小全, 李俊清. 清洁发展机制下造林或再造林项目的额外性问题探讨[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2005, 4(2): 51-56.
- [6] 袁传武, 张华, 张家来, 等. 武汉市江夏区碳汇造林基线碳储量的计量[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(2): 10-15.
- [7] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 152-153.
- [8] 李建华. 碳汇林的交易机制、监测及成本价格研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [9] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 279.
- [10] IPCC. 2006 IPCC guidelines for nation greenhouse gas inventories: Volume 2 energy[M]. Japan: IGES, 2006: 18-22.
- [11] 李怒云, 徐泽鸿, 王春峰, 等. 中国造林再造林碳汇项目的优先发展区域选择及评价[J]. 林业科学, 2007, 43(7): 5-9.

[5] ZHANG F S, MI G H, LIU J A. The improvement and application of maize in N efficiency [J]. J Agric Biotech, 1997, 2: 112-117.

- [6] 马兴华, 于振文, 梁晓芳, 等. 施氮量和底追比例对小麦氮素吸收利用及籽粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 150-155.
- [7] 赵琳, 吉春容, 李世清, 等. 施氮和不同栽培模式对半湿润农田生态系统冬小麦群体特征的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 12(7): 151-156.
- [8] 曹翠玲, 李生秀. 水分胁迫和氮素有限亏缺对小麦拔节期某些生理特性的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(6): 14-18.
- [9] 盛华安, 张明慧, 周永寿. 小麦氮肥后移技术对产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2003, 9(3): 64, 77.
- [10] 刘新月, 乔蕊清, 卫云宗, 等. 冬小麦超高产栽培氮肥后移技术的研究[J]. 山西农业科学, 2001, 29(2): 26-28.
- [11] 陈祥, 同延安, 亢欢虎, 等. 氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 450-455.
- [12] 吴永成, 杨世民, 汤永禄, 等. 氮肥施用量对攀西地区不同品质类型小麦的产量形成影响研究[J]. 四川农业大学学报, 2007, 25(1): 19-23.