

边艳霞,陈立强,王鹏程,等. 基于能值理论的新疆主要农作物秸秆综合利用生态足迹分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):269-274.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.072

# 基于能值理论的新疆主要农作物秸秆综合利用生态足迹分析

边艳霞<sup>1,2</sup>, 陈立强<sup>3</sup>, 王鹏程<sup>1</sup>, 张翠燕<sup>1</sup>

(1. 塔里木大学经济与管理学院,新疆阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学后勤管理处,新疆阿拉尔 843300;  
3. 塔里木大学动物科学学院,新疆阿拉尔 843300)

**摘要:**运用能值分析与生态足迹相结合的方法,对新疆 2005—2014 年主要农作物(棉花、小麦、玉米)秸秆资源的各种利用方式进行评估,分析新疆主要农作物秸秆综合利用的人均生态足迹及人均生态承载力。结果显示,近 10 年来新疆主要农作物(棉花、小麦、玉米)秸秆利用的人均总生态足迹为 2.622 hm<sup>2</sup>,人均总生态承载力为 2.318 hm<sup>2</sup>,人均总生态赤字为 0.304 hm<sup>2</sup>,年均生态足迹为 0.087 hm<sup>2</sup>,年均生态承载力为 0.077 hm<sup>2</sup>,年均生态赤字值为 0.010 hm<sup>2</sup>。新疆主要农作物秸秆资源的利用超出了该区域生态经济系统承载力,表明该区域秸秆资源利用不合理。因此,今后对新疆主要农作物秸秆资源的利用须进一步科学地规划,坚持适度利用;同时分析新疆主要农作物秸秆资源综合利用生态足迹的动态变化,对干旱区农业秸秆资源的高效循环利用管理和健康发展奠定了一定的理论基础,对实现环境友好型、资源节约型农业发展方式的转变也提供了有益的尝试和探索。

**关键词:**能值理论;秸秆综合利用;生态足迹;新疆;生态承载力;生态赤字

**中图分类号:** S181      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0269-05

农作物秸秆是农业废弃物的一种,它是实现农业可持续发展和生态农业发展的宝贵资源,其综合利用对可再生资源的高效利用和可持续经济的发展有着重要作用。目前,我国秸秆综合利用取得了一定的成效,但其综合利用效率仍较低,废弃秸秆已成为我国重要的面源污染源。2011 年中华人民共和国国家发展和改革委员会、中华人民共和国农业部、中华人民共和国财政部印发了《“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》,要求 2015 年力争秸秆综合利用率超过 80%,基本建立较完善的秸秆田间处理、收集、储运体系,形成布局合理、多元综合产业化利用格局;2015 年中央一号文件强调加强农业生态治理,提出开展秸秆、畜禽粪便资源化利用,大力推动农业循环经济发展;2016 年《第十二届全国人民代表大会第四次会议关于政府工作报告的决议(草案)》提出进一步鼓励秸秆资源化综合利用,限制直接焚烧秸秆。新疆地域广大,作物种类繁多,农作物秸秆表现出分布广、产量大、有效利用率低等特点,因此,大力开展秸秆多层次生态高值化(肥料化、饲料化、基料化、原料化、能源化)合理利用,对农业可持续发展、农业循环经济发展、农民增收、秸秆综合利用的规模化及实现区域秸秆资源经济效益、社会效益和生态环境效益的共赢都具有重要的意义。

能值分析理论是以能值为基准,把生态系统或生态经济系统中各种不可比较的能量转换成同一标准的能值来比较与分析,以评价其在系统中的作用和功能。生态足迹指生产任何已知人口(某个个人、一个城市或一个国家)所消耗的所有资源和吸纳这些人口所产生的所有废弃物所需的陆地和水域总面积<sup>[1]</sup>。传统的生态足迹理论在国家、区域可持续发展研究等领域得到了国内外学者的应用<sup>[2]</sup>,但传统的生态足迹模型只能进行静态分析,且产量因子与均衡因子的确定都欠缺合理性,对区域真实发展情况的反映存在一定的误差。

基于能值理论的生态足迹把各种不同类型、不同等级的能量流通过能值转换率换算成可以衡量各种能量的太阳能值<sup>[3]</sup>,再利用能值密度将各消费项目的太阳能值换算成相对应的生物生产性土地面积,计算出研究区域的生态足迹和生态承载力<sup>[4]</sup>,克服了传统生态足迹模型折算不同种类资源消耗时所引入的误差,大大提高了模型的准确性。目前,我国学者已采用此方法对许多地域的生态经济系统进行了研究<sup>[5]</sup>。边淑娟等将能值生态足迹分析方法运用到农作物秸秆等农业废弃物的综合利用上,分别对福建省农业废弃物和成都平原稻麦秸秆综合利用方式进行了评估<sup>[6-7]</sup>。

目前,关于新疆生态足迹的研究较少,仅有少数学者对新疆发展及部分区域状况等进行了生态足迹分析<sup>[8]</sup>,运用能值生态足迹方法对新疆秸秆资源综合利用的合理性的研究报道比较少见。因此,本研究以 2005—2014 年《新疆统计年鉴》<sup>[9]</sup>中新疆主要农作物(棉花、小麦、玉米)的数据为基础,计算出棉花、小麦、玉米秸秆资源的可收集利用量,通过能值转换率得到对应的棉花、小麦、玉米秸秆能值量,再利用全国及区域秸秆能值密度将消耗的能值换算成相应的生物生产性面积,计算出新疆棉花、小麦、玉米秸秆资源不同利用方式的

收稿日期:2016-06-12

基金项目:国家社会科学基金(编号:12BJL084);中央高校基本科研业务费专项资金(编号:2012RW002)。

作者简介:边艳霞(1986—),女,新疆哈密人,硕士研究生,主要从事干旱区资源环境经济研究。E-mail:yx\_hktk@126.com。

通信作者:王鹏程,硕士,硕士生导师,副教授,主要从事干旱区资源环境经济与区域研究。E-mail:pengchengw@126.com。

生态足迹,进而评价新疆棉花、小麦、玉米秸秆利用的合理性,以期为区域秸秆资源的合理利用提供一定的参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

新疆位于中国的西北部,地处 34° 25′ ~ 48° 10′ N, 73° 40′ ~ 96° 18′ E,面积约为 166 万 km<sup>2</sup>, 占我国陆地总面积的 1/6。全年日照时数达 2 550 ~ 3 500 h,年总辐射量达 5 000 ~ 6 490 MJ/m<sup>2</sup>,仅次于青藏高原而位居全国第 2。新疆年均降水量仅为 150 mm,气候干燥,区域分异性明显,是我国目前面积最大的干旱、半干旱荒漠区,生态环境相对脆弱。新疆农作物品种多,主要以棉花、小麦、玉米为主,秸秆资源丰富。

1.2 数据来源

本研究数据资料来源主要有 2 个部分:(1)研究区主要农作物棉花、小麦、玉米播种面积、产量和农业人口数量等数据均来自 2005—2014 年《新疆统计年鉴》<sup>[9]</sup>;全国棉花、小麦、玉米的产量和播种面积等数据来自 2015 年《中国统计年鉴》<sup>[10]</sup>;秸秆的利用方式等相关数据来自第一次全国农业污染源普查结果(2010 年)及相关统计资料<sup>[11]</sup>。(2)草谷比(农作物秸秆发生量与作物产量之间的比例)、秸秆能值转化率、太阳能值转化率、能量折算系数、能值转换率等数据参考相关文献。

2 各指标的计算方法

2.1 新疆主要农作物秸秆可收集利用量计算

根据新疆主要农作物(棉花、小麦、玉米)的产量可计算出农作物秸秆可收集利用量,计算公式如下:

$$S=Q\times r_1\times r_2。$$

式中:S 表示棉花、小麦、玉米秸秆可收集利用量;Q 表示棉花、小麦、玉米作物产量;r<sub>1</sub> 表示秸秆草谷比,参照新疆生产建设兵团第六师棉花草谷比实际测算结果和小麦、玉米草谷比种植试验结果,棉花、小麦、玉米的草谷比分别取值为 5.00、1.30、1.10;r<sub>2</sub> 为秸秆可收集利用系数,参考新疆农业相关政策和具体实际情况,棉花秸秆可收集利用系数取值为 0.90,小麦、玉米秸秆可收集利用系数取值为 0.83<sup>[12]</sup>。

2.2 新疆主要农作物秸秆能值估算

依据棉花、小麦、玉米秸秆能量折算系数和太阳能值转换

率可计算出秸秆能值量,计算公式如下:

$$E=Q\times C_v\times t。$$

式中:E 表示棉花、小麦、玉米秸秆的能值量,sej;Q 表示棉花、小麦、玉米秸秆的可收集利用量,t;C<sub>v</sub> 表示秸秆能量折算系数(热值),棉花、小麦、玉米秸秆的热值分别取值为 1.83 × 10<sup>10</sup>、1.597 × 10<sup>10</sup>、1.62 × 10<sup>10</sup> J/t;t 为秸秆能值转换率,取值为 4.53 × 10<sup>4</sup> sej/J<sup>[13]</sup>。

2.3 新疆主要农作物秸秆人均生态足迹分析

依据能值生态足迹分析方法,按照秸秆不同利用方式的比率及公式(1)计算出棉花、小麦、玉米秸秆不同利用方式的秸秆利用量,再按照公式(2)计算出不同利用方式的总能值,进而计算得出棉花、小麦、玉米秸秆的人均生态承载力,计算公式如下:

$$E_e=E_a/\rho_1=(q\times t)/(E/S)。$$

式中:E<sub>e</sub> 表示棉花、小麦、玉米秸秆的人均生态承载力;E<sub>a</sub> 表示新疆人均消耗棉花、小麦、玉米秸秆的理论能值;q 表示人均棉花、小麦、玉米秸秆生产量;t 表示棉花、小麦、玉米秸秆能值转换率;ρ<sub>1</sub> 表示全国棉花、小麦、玉米秸秆能值密度;E 表示全国棉花、小麦、玉米秸秆的总能值;S 表示全国棉花、小麦、玉米的播种面积。最后计算出棉花、小麦、玉米秸秆不同利用方式的人均生态足迹,计算公式如下:

$$E_f=\sum_{i=1}^n ef_i=\sum_{i=1}^n(e_i/\rho_2)。$$

式中:E<sub>f</sub> 表示棉花、小麦、玉米秸秆不同处理方式的人均生态足迹;i 表示秸秆处理方式种类;ef<sub>i</sub> 表示第 i 种棉花、小麦、玉米秸秆处理方式的人均生态足迹;e<sub>i</sub> 表示第 i 种棉花、小麦、玉米秸秆处理方式的人均能值;ρ<sub>2</sub> 表示棉花、小麦、玉米秸秆的能值密度,等于棉花、小麦、玉米秸秆总能值与棉花、小麦、玉米播种面积之比值。根据结果得出棉花、小麦、玉米秸秆的生态赤字或盈余,评价新疆棉花、小麦、玉米秸秆利用的合理性。

3 结果与分析

3.1 新疆主要农作物秸秆可收集利用量

新疆棉花、小麦、玉米播种面积占农作物总播种面积的比例较大,其秸秆产出量也较大。由公式(1)计算出新疆 2005—2014 年主要农作物秸秆资源的可收集量(表 1)。

表 1 2005—2014 年新疆棉花、小麦、玉米生产情况统计

年份	各种农作物总播种面积 (hm <sup>2</sup> )	播种面积(hm <sup>2</sup> )			作物产量(万 t)			秸秆可收集量(万 t)		
		棉花	小麦	玉米	棉花	小麦	玉米	棉花	小麦	玉米
2005	3 728 110	1 157 990	761 840	497 640	195.70	400.71	380.36	880.650	432.366	347.269
2006	4 206 280	1 664 430	740 110	496 430	267.53	400.31	386.80	1 203.885	431.934	353.148
2007	4 394 250	1 782 600	634 020	528 910	290.00	359.22	396.00	1 305.000	387.598	361.548
2008	4 536 870	1 668 010	877 970	545 390	301.55	395.69	416.41	1 356.975	426.950	380.182
2009	4 710 260	1 409 310	1 153 320	598 380	252.40	630.70	439.38	1 135.800	680.525	401.154
2010	4 758 640	1 460 600	1 120 010	653 820	247.90	623.49	421.61	1 115.550	672.746	384.930
2011	4 983 480	1 638 060	1 077 980	728 000	289.77	576.64	517.67	1 303.965	622.195	472.633
2012	5 136 740	1 720 800	1 081 040	855 720	353.95	576.54	592.11	1 592.775	622.087	540.596
2013	5 212 260	1 718 260	1 120 980	920 800	351.80	622.08	649.02	1 583.100	671.224	592.555
2014	5 994 470	2 421 330	1 142 350	910 800	451.00	642.27	641.09	2 029.500	693.009	585.315

### 3.2 不同利用方式下新疆主要农作物秸秆能值估算结果

2010 年第一次全国农业污染源普查结果显示,新疆各种农作物秸秆丢弃不用、田间焚烧量占总量的 3.22%,秸秆直接还田量占总量的 24.07%,秸秆肥料化利用量占总量的 1.29%,秸秆饲料化利用量占总量的 53.04%,用于生活燃料的秸秆量占总量的 14.30%,秸秆的其他形式用量占总量的 4.08%,秸秆的综合利用率为 72.71%,与 2020 年秸秆综合利用率 85% 以上的目标还有较大的距离。根据上述秸秆综

合利用比例估算出不同利用方式所消耗的棉花、小麦、玉米秸秆量(表 2)和不同利用方式下棉花、小麦、玉米秸秆的能值构成(表 3),根据表 3 绘制出 2005—2014 年新疆主要农作物(棉花、小麦、玉米)秸秆不同利用方式下能值的动态变化趋势,分别如图 1、图 2、图 3 所示,从图中可以看出,棉花秸秆总能值从 2009 年出现下滑,但下降不明显,2011 年开始又呈上升趋势,10 年间,小麦、玉米秸秆的总能值变化幅度没有棉花秸秆总能值的变化幅度大。

表 2 2005—2014 年新疆棉花、小麦、玉米秸秆利用状况

年份	秸秆类型	不同利用方式消耗的秸秆量(万 t)						
		总计	焚烧	还田	肥料化	饲料化	生活燃料	其他
2005	棉花	880.650	28.357	211.972	11.360	467.097	125.933	35.931
	小麦	432.366	13.922	104.070	5.578	229.327	61.828	17.641
	玉米	347.269	11.182	83.588	4.480	184.191	49.659	14.169
2006	棉花	1 203.885	38.765	289.775	15.530	638.541	172.156	49.119
	小麦	431.934	13.908	103.967	5.572	229.098	61.767	17.623
	玉米	353.148	11.371	85.003	4.556	187.310	50.500	14.408
2007	棉花	1 305.000	42.021	314.114	16.835	692.172	186.615	53.244
	小麦	387.598	12.481	93.295	5.000	205.582	55.427	15.814
	玉米	361.548	11.642	87.025	4.664	191.765	51.701	14.751
2008	棉花	1 356.975	43.695	326.624	17.505	719.740	194.047	55.365
	小麦	426.950	13.748	102.767	5.508	226.454	61.054	17.420
	玉米	380.182	12.242	91.510	4.904	201.649	54.366	15.511
2009	棉花	1 135.800	36.573	273.387	14.652	602.428	162.419	46.341
	小麦	680.525	21.913	163.802	8.779	360.950	97.315	27.765
	玉米	401.154	12.917	96.558	5.175	212.772	57.365	16.367
2010	棉花	1 115.550	35.921	268.513	14.391	591.688	159.524	45.514
	小麦	672.746	21.662	161.930	8.678	356.824	96.203	27.448
	玉米	384.930	12.395	92.653	4.966	204.167	55.045	15.705
2011	棉花	1 303.965	41.988	313.864	16.821	691.623	186.467	53.202
	小麦	622.195	20.035	149.762	8.026	330.012	88.974	25.386
	玉米	472.633	15.219	113.763	6.097	250.685	67.587	19.283
2012	棉花	1 592.775	51.287	383.381	20.547	844.808	227.767	64.985
	小麦	622.087	20.031	149.736	8.025	329.955	88.958	25.381
	玉米	540.596	17.407	130.121	6.974	286.732	77.305	22.056
2013	棉花	1 583.100	50.976	381.052	20.422	839.676	226.383	64.590
	小麦	671.224	21.613	161.564	8.659	356.017	95.985	27.386
	玉米	592.555	19.080	142.628	7.644	314.291	84.735	24.176
2014	棉花	2 029.500	65.350	488.501	26.181	1 076.447	290.219	82.804
	小麦	693.009	22.315	166.807	8.940	367.572	99.100	28.275
	玉米	585.315	18.847	140.885	7.551	310.451	83.700	23.881

注:因不同利用方式下棉花、小麦、玉米秸秆的利用比例数据收集相对比较困难,本研究将不同利用方式下 3 种秸秆的使用比例进行了模糊量化,假定三者使用比例相同进行换算,下表同。

**3.2.1 秸秆饲料化利用** 农作物光合作用产物的 50% 以上都存在于其秸秆中,农作物秸秆富含有机质、氮、磷、钾、钙、镁等多种营养成分,营养价值丰富。研究显示,1 t 普通秸秆的营养价值与 0.25 t 粮食的营养价值相当。通过青贮、氨化、微贮等处理技术可大大增加秸秆饲料的营养价值,升值的部分可能是农民辛苦种植出来的粮食价值的 3~5 倍。新疆区域秸秆饲料化利用的量约占总量的一半,部分地区畜牧业大户采用秸秆青贮养畜技术,有效解决了春、冬季饲草短缺的问题。随着近年来新疆草食牲畜养殖的规模化发展,裹包青贮、颗粒饲料、压块饲料等秸秆商品饲料有非常广阔的应用前景。

**3.2.2 秸秆直接还田利用** 秸秆直接还田是最简单、最易于

推广和操作的一种秸秆利用方式。秸秆直接还田可以提高土壤的有效肥力,对改善土壤理化性状、氮元素的固定和保存均有较大的作用。新疆区域秸秆直接还田量占总量的 24.07%,目前主要以机械埋压、高茬收割、套种等秸秆直接还田技术为主,今后须加强运用生态系统理论和方法研究秸秆直接还田方面的问题。

**3.2.3 秸秆肥料化利用** 新疆区域秸秆肥料化利用量仅占总量的 1.29%,所占比例较小。秸秆直接还田对环境、土壤、后茬作物的产量和质量会造成一定的影响,因此,加大政策引导与技术扶持,打破成本瓶颈,改粗肥还田为精肥还田,促进秸秆肥料化利用技术的快速发展就显得尤为重要。

表 3 2005—2014 年新疆秸秆不同处理方式的能值构成

年份	秸秆类型	秸秆不同处理方式的能值( $10^{18}$ sej)						
		总计	焚烧	还田	肥料化	饲料化	生活燃料	其他
2005	棉花	7 300.500	235.076	1 757.230	94.176	3 872.185	1 043.972	297.860
	小麦	3 127.914	100.719	752.889	40.350	1 659.045	447.292	127.619
	玉米	2 548.466	82.061	613.416	32.875	1 351.706	364.431	103.977
2006	棉花	9 980.086	321.359	2 402.207	128.743	5 293.438	1 427.152	407.188
	小麦	3 124.791	100.618	752.137	40.310	1 657.389	446.845	127.491
	玉米	2 591.615	83.450	623.802	33.432	1 374.593	370.601	105.738
2007	棉花	10 818.320	348.350	2 603.970	139.556	5 738.037	1 547.020	441.387
	小麦	2 804.046	90.290	674.934	36.172	1 487.266	400.979	114.405
	玉米	2 653.256	85.435	638.639	34.227	1 407.287	379.416	108.253
2008	棉花	11 249.187	362.224	2 707.679	145.115	5 966.569	1 608.634	458.967
	小麦	3 088.728	99.457	743.457	39.845	1 638.261	441.688	126.020
	玉米	2 790.006	89.838	671.554	35.991	1 479.819	398.971	113.832
2009	棉花	9 415.668	303.185	2 266.351	121.462	4 994.071	1 346.441	384.159
	小麦	4 923.199	158.527	1 185.014	63.509	2 611.265	704.017	200.867
	玉米	2 943.908	94.794	708.599	37.976	1 561.449	420.979	120.111
2010	棉花	9 247.798	297.779	2 225.945	119.297	4 905.032	1 322.435	377.310
	小麦	4 866.918	156.715	1 171.467	62.783	2 581.413	695.969	198.570
	玉米	2 824.847	90.960	679.941	36.441	1 498.299	403.953	115.254
2011	棉花	10 809.739	348.074	2 601.904	139.446	5 733.486	1 545.793	441.037
	小麦	4 501.211	144.939	1 083.441	58.066	2 387.442	643.673	183.649
	玉米	3 468.462	111.684	834.859	44.743	1 839.672	495.990	141.513
2012	棉花	13 203.945	425.167	3 178.190	170.331	7 003.373	1 888.164	538.721
	小麦	4 500.430	144.914	1 083.253	58.056	2 387.028	643.561	183.618
	玉米	3 967.221	127.745	954.910	51.177	2 104.214	567.313	161.863
2013	棉花	13 123.741	422.584	3 158.884	169.296	6 960.832	1 876.695	535.449
	小麦	4 855.912	156.360	1 168.818	62.641	2 575.576	694.395	198.121
	玉米	4 348.526	140.023	1 046.690	56.096	2 306.458	621.839	177.420
2014	棉花	16 824.352	541.744	4 049.622	217.034	8 923.636	2 405.882	686.434
	小麦	5 013.514	161.435	1 206.753	64.674	2 659.168	716.932	204.551
	玉米	4 295.394	138.312	1 033.901	55.411	2 278.277	614.241	175.252

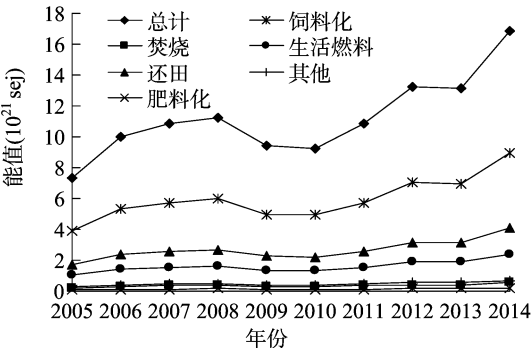


图1 2005—2014 年新疆棉花秸秆不同利用方式能值的动态变化趋势

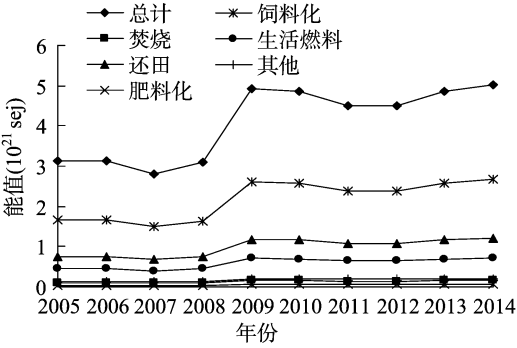


图2 2005—2014 年新疆小麦秸秆不同利用方式能值的动态变化趋势

3.2.4 秸秆作生活燃料利用 秸秆能源化主要包括秸秆固化成型、气化、炭化、秸秆发电、秸秆直接用作生活燃料等。据测算,2 t 秸秆的热值相当于 1 t 标准煤的热值,秸秆用于生活燃料的量占总量的 14.30%。

3.2.5 焚烧及其他 研究区秸秆的处理方式,除上述几种外,秸秆丢弃不用和田间焚烧及其他用量分别占总量的 3.22%、4.08%。秸秆露天焚烧问题已引起研究区各级政府部门的高度重视,但秸秆任意丢弃、遍地焚烧现象屡禁不止,亟待有关部门采取有效措施解决秸秆焚烧带来的资源浪费与

环境污染等问题。

3.3 秸秆人均生态足迹分析

根据公式(3)和公式(4)计算出 2005—2014 年新疆棉花、小麦、玉米秸秆资源的人均生态承载力和棉花、小麦、玉米秸秆不同处理方式的人均生态足迹。由表 4 可知,2005—2014 年期间,除 2006 年小麦秸秆人均总生态足迹小于人均总生态承载力(即生态盈余)外,其他年份 3 种作物(棉花、小麦、玉米)秸秆利用的人均总生态足迹均大于对应的人均总生态承载力,均表现为人均生态赤字。由于棉花、小麦、玉米

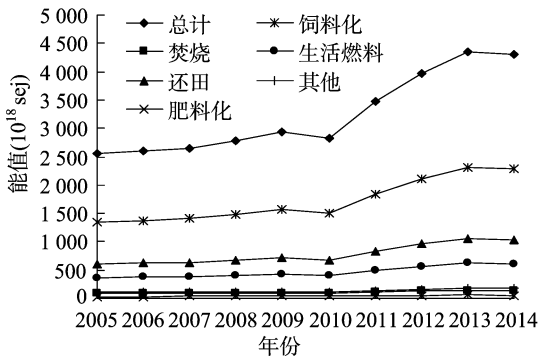


图3 2005—2014 年新疆玉米秸秆不同利用方式能值的动态变化趋势

秸秆不同利用方式下利用比例数据收集相对困难,计算时未对棉花、小麦、玉米秸秆的使用比例进行区分,是按照 2010 年第一次全国农业污染源普查结果,假定三者使用比例相同进行模糊量化换算。因此,棉花、小麦、玉米秸秆不同利用方式下人均生态足迹均表现为饲料化>还田>生活燃料>其他>焚烧>肥料化。

4 结论与讨论

2005—2014 年新疆主要农作物(棉花、小麦、玉米)秸秆利用的人均总生态足迹为 2.622 hm<sup>2</sup>,人均总生态承载力为 2.318 hm<sup>2</sup>,人均总生态赤字为 0.304 hm<sup>2</sup>;年均生态足迹为 0.087 hm<sup>2</sup>,年均生态承载力为 0.077 hm<sup>2</sup>,年均生态赤字为

表 4 2005—2014 年新疆秸秆不同处理方式的人均生态足迹汇总

年份	秸秆类型	秸秆各利用方式的人均生态足迹(hm <sup>2</sup> )						人均总生态足迹 (hm <sup>2</sup> )	人均总生态承载力 (hm <sup>2</sup> )	生态赤字 (hm <sup>2</sup> )
		焚烧	还田	肥料化	饲料化	生活燃料	其他			
2005	棉花	0.003	0.022	0.001	0.049	0.013	0.004	0.092	0.075	0.017
	小麦	0.002	0.015	0.001	0.032	0.009	0.002	0.060	0.046	0.014
	玉米	0.001	0.009	0.001	0.021	0.006	0.002	0.039	0.035	0.004
2006	棉花	0.004	0.031	0.002	0.069	0.019	0.005	0.131	0.089	0.042
	小麦	0.002	0.014	0.001	0.031	0.008	0.002	0.058	0.424	-0.366
	玉米	0.001	0.009	0.001	0.021	0.006	0.002	0.039	0.035	0.004
2007	棉花	0.005	0.034	0.002	0.074	0.020	0.006	0.140	0.097	0.043
	小麦	0.002	0.012	0.001	0.026	0.007	0.002	0.050	0.038	0.011
	玉米	0.001	0.010	0.001	0.022	0.006	0.002	0.041	0.037	0.004
2008	棉花	0.004	0.031	0.002	0.069	0.019	0.005	0.130	0.098	0.031
	小麦	0.002	0.016	0.001	0.036	0.010	0.003	0.068	0.040	0.028
	玉米	0.001	0.010	0.001	0.022	0.006	0.002	0.042	0.036	0.006
2009	棉花	0.003	0.026	0.001	0.058	0.016	0.004	0.109	0.082	0.026
	小麦	0.003	0.021	0.001	0.047	0.013	0.004	0.089	0.064	0.025
	玉米	0.001	0.011	0.001	0.024	0.007	0.002	0.046	0.040	0.006
2010	棉花	0.004	0.028	0.002	0.062	0.017	0.005	0.117	0.088	0.029
	小麦	0.003	0.022	0.001	0.048	0.013	0.004	0.090	0.066	0.024
	玉米	0.002	0.013	0.001	0.028	0.007	0.002	0.052	0.038	0.014
2011	棉花	0.004	0.032	0.002	0.070	0.019	0.005	0.131	0.097	0.034
	小麦	0.003	0.021	0.001	0.046	0.012	0.004	0.086	0.060	0.027
	玉米	0.002	0.014	0.001	0.031	0.008	0.002	0.058	0.045	0.014
2012	棉花	0.004	0.033	0.002	0.073	0.020	0.006	0.138	0.106	0.032
	小麦	0.003	0.021	0.001	0.046	0.012	0.004	0.086	0.058	0.029
	玉米	0.002	0.016	0.001	0.036	0.010	0.003	0.068	0.050	0.019
2013	棉花	0.004	0.033	0.002	0.072	0.020	0.006	0.137	0.105	0.031
	小麦	0.003	0.021	0.001	0.047	0.013	0.004	0.089	0.061	0.028
	玉米	0.002	0.018	0.001	0.039	0.010	0.003	0.073	0.053	0.020
2014	棉花	0.006	0.047	0.003	0.104	0.028	0.008	0.195	0.136	0.059
	小麦	0.003	0.022	0.001	0.049	0.013	0.004	0.092	0.062	0.030
	玉米	0.002	0.018	0.001	0.039	0.011	0.003	0.073	0.055	0.019
合计								2.622	2.318	0.304

注:赤字为正表示亏,为负表示盈。

0.010 hm<sup>2</sup>。新疆主要农作物(棉花、小麦、玉米)秸秆资源的利用超出了该区域生态经济系统的承载能力,表明该区域秸秆资源利用不合理,今后对新疆主要农作物秸秆资源的利用须进一步科学规划,坚持适度利用,不断提高秸秆资源的有效综合利用率。

本研究在计算 2005—2014 年新疆主要农作物(棉花、小麦、玉米)秸秆综合利用人均生态足迹时,由于研究区域农田

生物资源的复杂多样和不同利用方式下 3 种秸秆的利用比例数据收集有难度,因此秸秆可收集系数、能值转换率、不同利用方式下秸秆的使用比例等数据的选取可能与实际值存在一定的差异,导致计算结果存在一定的误差。但总体而言,能值生态足迹方法有其理论的先进性,研究结果基本可以客观真实地反映新疆主要农作物(棉花、小麦、玉米)秸秆资源的利用状况,为新疆秸秆资源的有效综合利用提供了一定的科学

林 丽,陈泽斌,何群香,等. 烟草不同部位内生细菌的多样性[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):272-276.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.073

# 烟草不同部位内生细菌的多样性

林 丽<sup>1,2</sup>, 陈泽斌<sup>1,2</sup>, 何群香<sup>1</sup>, 徐松萍<sup>1</sup>, 华金珠<sup>1,2</sup>, 黄 丽<sup>1,2</sup>, 徐胜光<sup>2</sup>

(1. 昆明学院, 云南昆明 650214; 2. 云南省高校生物炭工程研究中心, 云南昆明 650214)

**摘要:**为了揭示烟草不同器官中内生细菌的分布规律,应用 Illumina 测序平台的 MiSeq 高通量测序仪对烟草根、茎、叶中内生细菌的 16S rDNA-V4 区扩增子进行测序,对测得数据进行生物信息学分析,评价物种  $\alpha$  多样性和  $\beta$  多样性。经 FLASH 软件对序列进行拼接,茎、叶、根样品分别获得 36 129、60 312、52 573 条原始序列,经 Qiime 软件过滤,再剔除宿主的叶绿体和线粒体序列,最终分别得到 35 190、58 938、51 268 条有效序列,在 97% 的序列相似性水平上,这些有效序列被 Uparse 软件划分为 1 447、1 141、1 220 个操作分类单元(OTUs)。序列比对结果表明,在根、茎、叶中芽球菌属(*Blastococcus*)、鞘氨醇单胞菌属(*Sphingomonas*)为优势菌。类诺卡氏菌属(*Nocardioideis*)、链霉菌属(*Streptomyces*)、Gemmatimonadaceae 属、Gaiella 属、壤红杆菌属(*Solirubrobacter*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)细菌表现出组织专一性,主成分分析表明,根和叶中内生细菌群落结构最为相似。烟草植株内蕴含丰富的细菌资源,受组织结构及成分因素影响表现出器官差异性,即茎>根>叶。通过对烟草不同部位内生细菌多样性进行研究,可为烟草植物生物活性内生菌株的发掘利用提供理论依据。

**关键词:**烟草;营养器官;内生细菌;组成;多样性;分布规律;生物信息学;宿主;优势菌;基因工程菌

**中图分类号:** S572.01; Q939.92 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0272-05

植物内生细菌(endophytic bacteria)泛指那些在其生活中的一定阶段或全部阶段生活于健康植物体内对植物器官未引

收稿日期:2017-03-24

基金项目:国家自然科学基金(编号:41361056);云南省教育厅科学研究项目(编号:2016ZDX096,2014Y390);昆明学院“人才引进”项目(编号:YJL14005);云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设项目(编号:05000511311);云南省特色生物资源开发与利用重点实验室开放基金(编号:GXKJ201621)。

作者简介:林 丽(1976—),女,云南水富人,硕士,讲师,主要从事植物保护的教學及科研工作。E-mail:llysj4809@163.com。

通信作者:徐胜光,博士,研究员,主要从事污染生态的生物炭修复技术开发及产业化方向。E-mail:sgxu2011@126.com。

依据,可为政府决策部门制定相关政策提供可靠的参考。

## 参考文献:

- [1] Wackernagel M, Monfreda C, Erb K H, et al. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961-1999: comparing the conventional approach to an 'actual land area' approach[J]. Land Use Policy, 2004, 21(3): 261-269.
- [2] 施开放,刁承泰,孙秀峰,等. 基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1872-1880.
- [3] 蓝盛芳,钦 佩,陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京:化学工业出版社, 2002: 384.
- [4] 张芳怡,濮励杰,张 健. 基于能值分析理论的生态足迹模型及应用——以江苏省为例[J]. 自然资源学报, 2006, 21(4): 653-660.
- [5] 赵雪雁,刘 霜,赵海莉. 基于能值分析理论的生态足迹在区域可持续发展评价中的应用——以甘肃省为例[J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 524-531.
- [6] 边淑娟,黄民生,李 娟,等. 基于能值生态足迹理论的福建省农

起明显病害症状的微生物<sup>[1]</sup>。近年来,已知在地球上接近 30 种的高等植物中每个物种都与多种内生细菌共生<sup>[2]</sup>。对烟草植物中内生细菌的报道早就出现了,但大多采用一代测序进行研究分析,运用二代测序进行研究分析的报道少之又少。因此,本研究采用 Illumina 高通量测序平台的 MiSeq 测序仪对烟草不同部位内生细菌的 16S rDNA 扩增子进行二代测序,相较于传统的组织培养法以及基于一代测序的非培养方法,测序费用低,测序深度更大,检测灵敏度更高,从而能更好地实现对烟草不同部位内生细菌种类的准确调查,从而加深对烟草内生细菌种群结构的了解。

内生细菌是一个多样性丰富的微生物类群,生活于健康植物的各个组织和细胞间隙内,具有稳定的生存空间,不易受

业废弃物再利用方式评估[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2678-2686.

- [7] 黄 春,邓良基,高雪松,等. 基于能值理论的秸秆利用生态足迹评估——以成都平原典型稻麦轮作区为例[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(6): 722-728.
- [8] 谢 霞,王宏卫. 塔西甫拉提·特依拜. 基于能值理论的艾比湖地区生态足迹分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(6): 21-25.
- [9] 新疆维吾尔自治区统计局. 2005—2014 年新疆统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2005-2014.
- [10] 中华人民共和国国家统计局. 2015 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2015.
- [11] 侯新强. 新疆农作物秸秆资源化综合利用模式研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2012.
- [12] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2010.
- [13] 韦茂贵,王晓玉,谢光辉. 中国各省大田作物田间秸秆资源量及其时间分布[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 32-44.