

文章编号: 1005-0906(2014)02-0098-06

高产春玉米灌浆期碳氮积累、转运及叶片衰老特性对深松深度的响应

尹 斌, 高聚林, 王志刚, 于晓芳, 孙继颖, 胡树平,
苏治军, 谢 岷, 王水霞, 吕佳雯

(内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 试验采用深松 35 cm(S35)和深松 25 cm(S25)及不深松(CK)3 个处理, 比较分析各处理间吐丝后地上部干物质、氮素积累量的差异和叶片 SPAD 值、群体叶面积的变化。结果表明, 灌浆期地上部干物质、氮素积累量均表现为 S35>S25>CK 处理, 且随着生育进程的推进和深松深度的增加, 其差异明显增大。在吐丝后 36 d, 各深松处理子粒干物质和氮素积累量均占成熟期的 60% 之上, 均以 S35 最高; 棒三叶以下叶片的氮素输出量表现为 CK>S25>S3 处理; 群体叶面积下降幅度表现为 CK>S25>S35 处理, 以吐丝后 18~36 d 下降最为明显; 深松处理延缓了穗位叶、穗位上、下第 1 叶和穗位上第 2 叶 SPAD 值的下降。随深松深度的增加深松作用显著, 在灌浆后期表现更明显。

关键词: 春玉米; 深松深度; 灌浆期; 氮积累与转运; 叶片衰老

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Response on Carbon-nitrogen Accumulation and Transportation and Leaf Senescence Characters of High Yield Spring Maize by Subsoiling Depth in Filling Stage

YIN Bin, GAO Ju-lin, WANG Zhi-gang, YU Xiao-fang, SUN Ji-ying, HU Shu-ping,
SU Zhi-jun, XIE Min, WANG Shui-xia, LÜ Jia-wen

(Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract: Subsoiling depth 35 cm(S35), 25 cm(S25) and none-subsoiling(CK) as the three treatments, to compare the changes on dry matter mass of overground part, nitrogen accumulation, SPAD of leaf and population LAD after silking stage. The results showed that dry matter mass and nitrogen accumulation amount showed S35>S25>CK in anthesis and kernel stage, with time goes by and subsoiling depth deep, the degree increasing. After 36 days in silking stage, dry matter mass and nitrogen accumulation were above 60% of mature stage, S35 was the highest and CK was the lowest. Leaves nitrogen below three ear-leaves showed transportation and transportation amount showed CK>S25>S35, population LAD showed CK>S25>S35, especially in the days from 18 to 36 after anthesis and kernel stage, subsoiling treatment made SPAD of the three ear-leaves and the second leaf delay. Given all that, subsoiling was the more significant role by subsoiling depth deep, especially after silking stage.

Key words: Spring maize; Subsoiling depth; Filling stage; Carbon-nitrogen accumulation and transportation; Leaf senescence

收稿日期: 2013-03-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(31060175)、国家粮食丰产科技工程项目(2011BAD16B13, 2012BAD04B04, 2013BAD07B04, 2011BAD16B14)、国家玉米产业技术体系蒙西综合试验站(CARS-02-63)、“973”计划项目(2009CB118601)

作者简介: 尹 斌(1984-), 男(满), 内蒙古人, 硕士, 从事玉米生理生态研究。E-mail: ndyinbin@163.com

高聚林为本文通讯作者。E-mail: gaojulin@yahoo.com.cn

灌浆期是玉米产量建成的重要时期,也是植株生理功能渐进衰退期^[1]。目前更多学者认为,随品种的不断更替,新品种的灌浆物质逐渐以花后光合作用为主^[2~5],生育后期的光合产物对子粒的贡献率为78%~84%^[6]。也有研究表明,减少花后叶片中氮素的输出,延缓叶片衰老,可维持较高的光合速率,进而有助于提高产量^[7]。灌浆期间叶源的光合活性对子粒产量形成尤为重要。王海燕等^[8]研究表明,在高密植条件下叶片出现早衰,光合速率降低,不利于子粒产量的形成,进而限制了高密植玉米群体高产量潜力的发挥。“深松”作为增产的重要耕作措施之一,通过深松措施打破犁底层,降低耕层土壤紧实环境,改善耕层理化环境,进而促进根系下扎,最终提高产量。目前,研究者均认为,深松措施能增加粒重和穗粒数,但对深松增产的机理尚未有明确的定论。

本试验在前人研究的基础上采取不同深度深松措施,从子粒建成角度出发,深入研究吐丝后36 d内地上部干物质和氮素积累、转运、叶片衰老特性及子粒建成对深松深度的响应,揭示深松增产机制,为内蒙古平原灌区采取适宜深松深度提高玉米产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2011~2012年在内蒙古农业大学科技园蒙西综合试验站进行。试验田的犁底层为17~35 cm土层,土质为沙壤土,土壤有机质含量为7.3 g/kg,全氮含量为703 mg/kg,速效磷含量为5.1 mg/kg,速效钾含量120.4 mg/kg,pH值为8.2,生育期降水314 mm,生育期积温(4月27日至9月19日)2 580 °C·d。

1.2 试验设计

试验采用局部打破犁底层处理即春季深松25 cm+表层旋耕15 cm(S25)、完全打破犁底层处理

即春季深松35 cm+表层旋耕15 cm(S35)和未打破犁底层处理即表层旋耕15 cm的常规耕作(CK)3个处理。采用大区对比法试验,大区面积为10 m×60 m。供试玉米品种为内单314。行距均为50 cm,种植密度为93 000株/hm²。基肥施磷酸二铵369 kg/hm²,硫酸钾475.5 kg/hm²,追施尿素886.5 kg/hm²。全生育期灌水和其他管理措施同大田生产。4月28日播种,9月25日收获。

1.3 测定项目与方法

于吐丝期(8月2日)、灌浆期中期(8月20日)、灌浆后期(9月7日)、收获期(9月25日)4个时期取样,采用5点取样,选取典型植株4株,测定植株地上部干物质重及氮素、叶片SPAD值、叶面积。

植株地上部干物质重及氮素测定:每株地上部分按棒三叶叶上区、棒三叶叶区及棒三叶叶下区3部分,分开营养器官(茎+鞘、叶)和生殖器官(雄穗、苞叶、穗轴和子粒),烘干法测定干物质重,浓H₂SO₄-H₂O₂消解法测定氮素含量。

SPAD值测定:用标牌标记每株,采用SPAD-502型叶绿素计测定。叶片标记:每株从穗位叶分开,穗位叶记“0”;依次向上记“+1、+2...”;依次向下叶片记“-1、-2...”。

叶面积:采用长乘宽系数法,卷尺测每片叶的叶长和叶宽。

1.4 测产与考种

收获前,各处理大区均匀选取3个小区(每小区面积为7 m×7 m),进行实测玉米产量,并随机留20个果穗(其平均穗重等于所有穗重的平均值)风干后考种。

1.5 数据处理

用Microsoft Excel 2003和SPSS13.0进行数据统计分析及作图。

2 结果与分析

2.1 产量和产量构成因素对深松深度的响应

表1 不同深松深度下高产春玉米产量构成因素的差异

Table 1 Differences of yield components of high yield under different subsoiling depth

处理 Treatment	穗数(穗/hm ²) Spike number	穗粒数(粒) Kernels per spike	千粒重(g) 1000-kernel weight	产量(kg/hm ²) Yield
S35	93 270 ± 4 560 a	536 ± 48 a	326 ± 14 a A	12 063.45 ± 914.32 a A
S25	92 972 ± 4 305 a	532 ± 56 a	322 ± 40 a A	11 787.15 ± 734.51 a A
CK	93 538 ± 4 364 a	515 ± 55 a	282 ± 22 b A	10 041.92 ± 870.04 b A

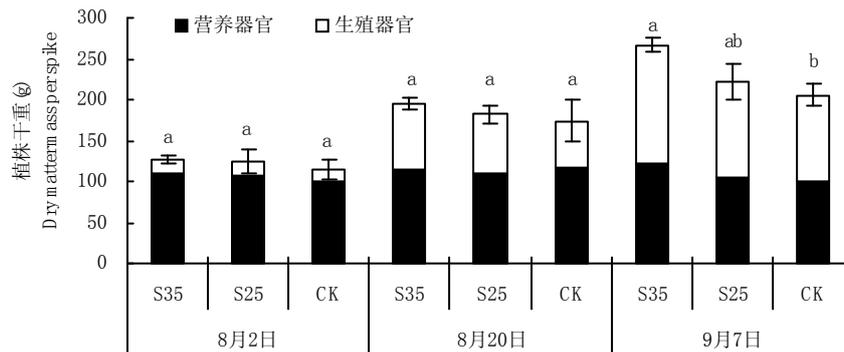
注:表中小写字母表示5%显著水平;大写字母表示1%显著水平。下表同。

Note: Lowercase letters indicated the significant at 5% level, capital letter at 1% level. The same below.

由表 1 可见,深松措施能显著提高产量,并随深松深度的增加增产趋势明显。S35 和 S25 处理的子粒产量显著高于 CK, S35 和 S25 处理之间差异不显著。各处理的玉米产量构成因素表现为 S35 和 S25 处理的千粒重显著高于 CK, 穗数和穗粒数在各处理间差异不显著。

2.2 植株地上部干物质积累、转运对深松深度的响应

由图 1 可见,8 月 2 日至 8 月 20 日,各处理植株地上部的干物质增加主要以生殖器官干重的增加为主,不同处理间表现为 S35>S25>CK 处理,但差异不显著;8 月 20 日至 9 月 7 日, S25 和 CK 处理的营养器官的干重出现下降趋势,到 9 月 7 日时单株干重和生殖器官干重在不同处理间均表现为 S35>S25>CK 处理,且 S35 处理显著高于 CK; S25 与 S35、CK 的差异不显著。



注:小写字母表示 5% 显著水平。下图同。

Note: Lowercase letters indicated the significant at 5% level. The same below.

图 1 单株营养器官和生殖器官干物质积累

Fig.1 Dry matter mass of vegetative organs and reproductive organs per spike

表 2 吐丝后 36 d 内单株营养器官和生殖器官干物质的转运

Table 2 Dry matter mass of vegetative organs and reproductive organs per spike in 36 days after silking stage

处理 Treatment	营养器官干物质 转运量(g) Vegetative organs transportation amount	生殖器官干物质 积累量(g) Reproductive organs accumulation amount	营养器官干物质转运量对生殖器官 干物质积累的贡献率(%) Contribution rate to reproductive organs from vegetative organs	子粒积累量(g) Accumulation amount	对最终子粒粒重 的贡献率(%) Contribution rate to kernels
S35	13.23	126.68	10.44	97.22 a	73.77
S25	-2.83	101.40	2.79	80.74 ab	63.88
CK	-0.02	92.19	0.02	65.00 b	63.33

注:表中“-”代表向其他器官转运;“+”代表向其转运。下表同。

Note: “-” means roll-out, “+” means accumulate. The same below.

由表 2 可知,吐丝后 36 d 内, S25 和 CK 处理的营养器官干物质呈向外转运状态,且 S25 处理的营养器官转运量及其对生殖器官积累量的贡献率均高于 CK,而 S35 处理的营养器官干物质则呈现积累状态,积累量为 13.23 g。各处理的生殖器官干物质积累量及其子粒积累量均表现为 S35>S25>CK 处理,且 S35 处理显著高于 CK; S35 处理在吐丝后 36 d 内子粒积累量对成熟期子粒产量的贡献率为 73.77%。说明吐丝后 36 d 内,生殖器官的干物质积累依赖营养器官干物质转运量程度较小, S35 处理为子粒建成构建了更多的物质基础。

2.3 植株地上部氮素积累、转运对深松深度的响应

由图 2 可见,吐丝后 36 d 内,不同处理间植株地上部氮素积累量总体表现为 S35>S25>CK 处理,8 月 2 日和 8 月 20 日差异不显著,到 9 月 7 日 S35 处理显著高于 CK。9 月 7 日 S35 处理营养器官的氮素积累未发生明显变化, S25 和 CK 处理营养器官的氮素积累量出现明显下降趋势。各处理生殖器官的氮素积累量随生育进程的推进均逐渐升高,不同处理间表现为 S35>S25>CK 处理, S35 处理显著高于 CK。

由表 3 可以看出,吐丝后 36 d 内,不同处理间子粒氮素的积累量表现出 S35>S25>CK 处理, S35

处理显著高于 CK,且 S35 处理对其成熟期子粒氮素积累量的贡献率最高,S25 处理次之,CK 最低。S35 处理营养器官氮素向外转运量为 0.01 g,生殖器官氮素的积累量为 1.42 g。S35、S25 处理营养器官氮素

转运量对生殖器官氮素积累量的贡献率为 0.84%和 10.69%。说明深松处理能缓解生殖器官与营养器官的氮素竞争,减轻生殖器官氮素积累对营养器官氮素转运的依赖,有利于延缓营养器官的衰老。

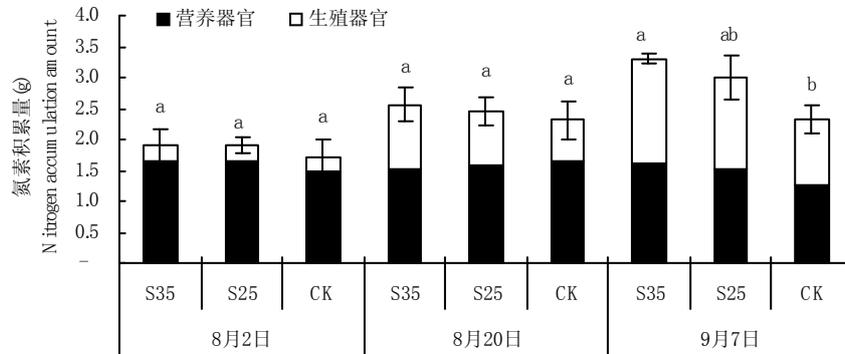


图 2 单株营养器官和生殖器官氮素积累情况

Fig.2 Vegetative organs organs nitrogen accumulation and reproductive organs nitrogen accumulation per spike

表 3 吐丝后 36 d 内营养器官和生殖器官氮素的转运

Table 3 Vegetative organs nitrogen transportation and reproductive organs transportation in 36 days after silking stage

处 理 Treatment	营养器官氮素 转运量(g) Vegetative organs transportation amount	生殖器官氮素 积累量(g) Reproductive organs accumulation amount	营养器官氮素转运量对生殖器官 氮素积累量的贡献率(%) Contribution rate to reproductive organs from vegetative organs	子粒氮素 积累量(g) Accumulation amount	对成熟期子粒氮素 积累量的贡献率(%) Contribution rate to kernels
S35	-0.01	1.42	0.84	1.36 a	86.44
S25	-0.13	1.25	10.69	1.21 a	73.60
CK	-0.22	0.84	25.90	0.83 b	55.58

2.4 营养器官氮素积累、转运对深松深度的响应

由表 4 可以看出,吐丝后 36 d 内,由于各处理叶片氮素的积累量低于茎鞘中转运量,从而使营养器官呈现氮素转运态势。S35 处理叶片积累量 101.62 mg,是 S25 的 5.8 倍、CK 的 2.3 倍,S35 处理叶片氮素积累部位是棒三叶和棒三叶以上叶片,棒三叶以下叶片为输出部位。与 S35 处理不同,S25 和 CK 的棒三叶以下叶片和棒三叶为氮素转出部位,

S25 处理的输出量小于 CK。各处理茎鞘中的氮素呈转出状态,转出量表现为 CK>S25>S35 处理,其中,CK 处理的棒三叶以下茎鞘和棒三叶茎鞘的输出量均明显高于 S35 和 S25 的同部位,且 CK 处理棒三叶以上茎鞘的输出量明显高于 S35 的同部位,但与 S25 的同部位相当。可见深松能明显缓解棒三叶及棒三叶以下叶和茎鞘中氮素的输出。

表 4 吐丝后 36 d 内叶和茎鞘氮素的转运

Table 4 Leaf nitrogen transportation and redistribution in 36 days after silking stage

处 理 Treatment	叶(g) Leaf	茎 + 鞘(g) Stem+sheath	棒三叶以下部分 Parts below three ear-leaves		棒三叶部分 Parts of three ear-leaves		棒三叶以上部分 Parts above three ear-leaves	
			叶(g) Leaf	茎 + 鞘(g) Stem+sheath	叶(g) Leaf	茎 + 鞘(g) Stem+sheath	叶(g) Leaf	茎 + 鞘(g) Stem+sheath
			S35	101.62	-113.51	-40.73	-35.38	38.98
S25	17.58	-150.77	-5.70	-29.03	-27.46	-31.59	50.74	-90.15
CK	43.91	-261.63	-67.42	-100.70	-25.01	-71.15	136.34	-89.78

2.5 单株叶片 SPAD 值及群体叶面积指数对深松深度的响应

有研究发现,花后上层叶片的 SPAD 值会保持或上升,而下层叶片的 SPAD 值会出现逐渐下降^[1],两层叶片的交叉点称之为“拐点”。由图 3 可见,各处理不同层位叶片 SPAD 值均呈单峰曲线变化,CK 处理各层次叶片 SPAD 值的“拐点值”是穗位叶上第 2 叶,而 S35 和 S25 叶片 SPAD 值的“拐点值”是穗位叶下第 1 叶,说明 S35 和 S25 较 CK 能延缓穗位叶

上第 2、第 1、穗位叶和穗位叶下第 1 叶 4 个叶位的 SPAD 值下降趋势,延缓这 4 片叶的衰老。

由图 4 可见,吐丝后 36 d 内,S35 处理的绿叶面积指数下降幅度最小,是 CK 的 47.81%,S25 次之,各处理 18~36 d 绿叶面积指数下降幅度均表现明显高于 18 d 前。可见,深松处理有助于延缓群体绿叶面积指数的降低,保证后期群体“源”生产面积,并且随深松深度的增加逾明显。

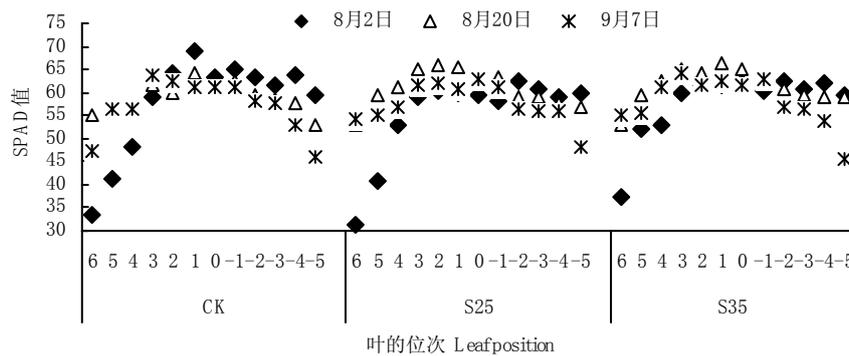


图 3 不同时期各层位叶片的 SPAD 值

Fig.3 SPAD in different positions of leaves in the different stages

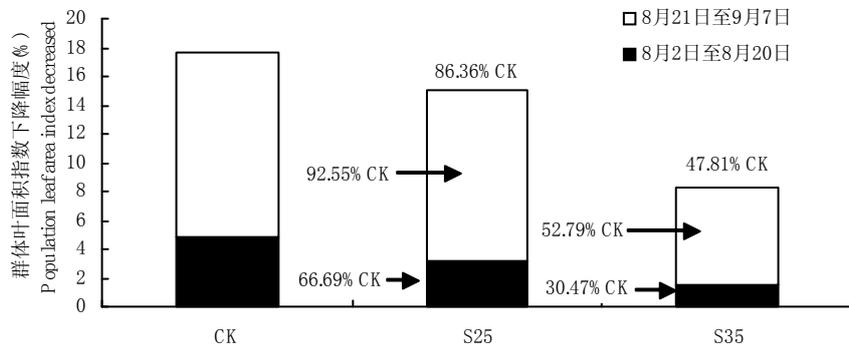


图 4 吐丝后 36 d 内群体绿叶面积指数下降幅度

Fig.4 Drop magnitude of population leaf-area index in 36 days after silking stage

3 结 论

深松处理增产的机制是保持吐丝后 36 d 内叶片较高的光合同化产物积累,减少营养器官干物质及氮素的运出,尤其棒三叶以下叶片氮素的运出,缓解棒三叶区 4 片叶的叶绿体衰解,使之在吐丝后 18~36 d 内有较高的群体叶面积指数,进而达到较高的单株干物质积累,为子粒建成奠定坚实的基础,且这种增产现象以完全打破犁底层深松 35 cm 最为明显。

参考文献:

[1] 黄振喜,王永军,王空军,等. 产量 15 000 kg/hm² 以上夏玉米灌浆

期间的的光合特性[J]. 中国农业科学,2007,40(9):1898-1906.

Huang Z X, Wang Y J, Wang K J, et al. The more than summer maize of 15 000 kg/ha photosynthetic characteristics during filling stage [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(9): 1898-1906. (in Chinese)

[2] 胡昌浩,董树亭,王空军,等. 我国不同年代玉米品种生育特性演进研究[J]. 玉米科学,1998(6):49-53.

Hu C H, Dong S T, Wang K J, et al. The research of different years of maize varieties growth characteristics evolution in China [J]. Journal of Maize Sciences, 1998(6): 49-53. (in Chinese)

[3] 李 飒,彭云峰,于 鹏,等. 不同年代玉米品种干物质积累与钾素吸收及其分配[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(2):325-32.

Li S, Peng Y F, Yu P, et al. Different years of maize varieties dry matter accumulation and potassium absorption and its distribution [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(2): 325-32. (in Chinese)

- [4] Mackown C T, van Sanford D A, Zhang N Y. Wheat vegetative nitrogen compositional changes in response to reduced reproductive sink strength[J]. *Plant Physiol*, 1992, 99: 1469-1474.
- [5] Khan M N A, Murayama S, Ishimine Y, et al. Physio-morphological studies of F₁ hybrids in rice(*Oryza sativa* L)[J]. *Plant Production Science*, 1998, 1: 231-239.
- [6] 黄智鸿,王思远,包 岩,等. 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J]. *玉米科学*, 2007, 15(3): 95-98 .
Huang Z H, Wang S Y, Bao Y, et al. The research of different kinds of super high yield maize dry matter accumulation and distribution characteristics [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(3): 95-98. (in Chinese)
- [7] 李 耕,高辉远,刘 鹏,等. 氮素对玉米灌浆期叶片光合性能的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(3): 536-542 .
Li G, Gao H Y, Liu P, et al. The influence of nitrogen on photosynthetic property of leaf during maize filling stage[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 536-542. (in Chinese)
- [8] 王海燕,高聚林,王志刚,等. 高密度对超高产春玉米花粒期叶片衰老与根系活力的影响[J]. *玉米科学*, 2012, 20(2): 75-81 .
Wang H Y, Gao J L, Wang Z G, et al. The influence of high density on super high yield spring maize leaf senescence and root activity in anthesis maturity period[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(2): 75-81. (in Chinese)
- [9] 宋 日,吴春胜,牟金明,等. 深松对玉米根系生长发育的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2000, 22(4): 73-85 .
Song R, Wu C S, Mou J M, et al. The influence of subsoiling on maize roots in growth and development period[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2000, 22(4): 73-85. (in Chinese)
- [10] 丁昆仑, Hann M J. 深松耕作对土壤水分物理特性及作物生长的影响[J]. *中国农村水利水电*, 1997, 11(6): 11-16 .
Ding K L, Hann M J. The influence of subsoiling on soil water physical properties and crop growth[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 1997, 11(6): 11-16. (in Chinese)
- [11] 郭书亚,张 新,张前进,等. 秸秆覆盖深松对夏玉米花后穗位叶衰老和产量的影响[J]. *玉米科学*, 2012, 20(1): 104-107 .
Guo S Y, Zhang X, Zhang Q J, et al. summer maize ear leaf aging and production after flowering stage[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(1): 104-107. (in Chinese)
- [12] 王红光,于振文,张永丽,等. 耕作方式对旱地小麦耗水特性和干物质积累的影响[J]. *作物学报*, 2012, 38(4): 675-682 .
Wang H G, Yu Z W, Zhang Y L, et al. The influence of tillage methods on wheat the properties of water consumption and dry matter accumulation in the dry field[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(4): 675-682. (in Chinese)

(责任编辑:胡 娟)